

臺灣二〇〇六年國際科學展覽會

科 別：植物學

作 品 名 稱：蓮花自潔效應之成因機制

學校 / 作者：臺中市立四張犁國民中學 趙書賢
臺中市立四張犁國民中學 楊博皓

作者簡介



我的名字是趙書賢，就讀四張犁國中三年級。國二時學校舉辦資優教育方案，我從課程中理解了科展的架構和精神，之後便與朋友迷上科展，在老師指導後，終於完成我們專題。

升上國三後又繼續朝國際科展邁進，一次又一次的修改和探討，企圖讓我們的作品更完善。這次科展後，讓我感到大自然的偉大。此次科展除了非常指導老師鄭培華老師和劉秉岱老師之外，還要特別感謝林金直老師技術與內容上的指點，和蔡其翰老師在英文摘要上的幫忙。



楊博皓(圖左)

我在二年級時，和許多校中高手一同參加中市科展，得到評審的肯定。而現在有幸能躋身於各大高手環伺的國際科展，再加上老師們的指導，讓我對蓮花效應更加了解。相信在各位老師與同學的督促下，我們都能夠百尺竿頭，更進一步!

Abstract

Nano technology is one of the most advanced technologies now. Since it will alter and rearrange the fundamental structures of atoms and particles within the space of 1~100 nm ($n=10^{-9}$) the coming industrial revolution depends on it. Nano technology will pose dramatic impact upon a variety of specific fields including physics, electronics, photon electronics, chemical industries and so on. Lotus is one of the most primitive covered-seed plants. It has existed since 140 million years ago and has spread in wide areas. The University of California made lotus seeds that have been frozen for 1300 years sprouted. The Taiwanese lotus seeds were transported from China in the 1600s. The researchers are to probe into the relationship between the nature of lotus and nanotechnology to understand the potential significance of this newly developed technology.

The researcher employed the direct observation and tape recording to collect the objective data of the individual growth steps of lotus to analyze the self-cleaning effect of the lotus. In the conclusive part, the application of the Lotus Effect and the creative technology will be discussed and analyzed with the hope to prescribe both a conclusive experimental principles and a further direction for the manufacturing systems related to the developing Lotus Effect.

The researchers of the study found that those plants, which have high quality of Lotus Effect, are given the nature of resisting water, which is the consequence of two features namely, the nano-structures and the surface wax. And the leaves of lotus, potato all have these two features. Therefore, it is inferred that the more efficient mechanism of the nano-structure and surface wax and Lotus Effects the plants are, the more effects of the water-resistance function will the plants achieve.

摘要

奈米科技是二十世紀末、二十一世紀初新興的科學技術，由於它是在 1~100 nm ($n = 10^{-9}$) 的尺度內改造原子及分子排列，創造新物質【1】，將顛覆傳統改造物性，被預言將帶來人類的第四波工業革命，對物理、電子、光電、化工、材料、生醫、機電各領域帶來巨大衝擊。

『蓮』是世界上最早的被子植物之一，在一億四千萬年前就生長在地球上，蓮的分布甚廣，從印度、中國、日本、北美到西伯利亞到處都有蓮的蹤跡。蓮的生命力強，很能適應環境，美國加州大學曾試驗培植古代蓮子，經過 1300 年的沉睡，古代蓮子仍然正常發芽【2】。台灣的蓮花是十七世紀的移民，自中國帶來種植的。

『奈米科技』和『蓮』這兩個不同年代的產物名詞如何連結在一起，他們怎樣相互依存；這正是本文討論的重點，也是了解『奈米科學』很好的例子。本文藉出汙泥而不染，闡述蓮花的自潔 (self-cleaning) 效應。一般在奈米技術中，簡稱『蓮花效應』【3】，包含清潔機制、

成因；使用觀察紀錄自潔狀況情形，幫助對蓮花自潔過程的掌握。期望能對具有蓮花效應的奈米結構提供良好的意見。

本研究的結果發現，蓮花效應強的植物，幾乎具有高抗水性。而抗水性是來自奈米結構和表層蠟質，這兩個特質也是蓮葉、芋頭葉等高蓮花效應的植物所具備的，所以我們推論：奈米結構和表層蠟質越發達，抗水性越好，則植物葉面的蓮花效應越強。

一、研究動機

今年寒假，學校舉辦鄉土育樂營，結訓當天，我們到達最後一站『蓮荷果休閒農場』，農場主人許先生為我們介紹了蓮花的特性，並讓我們去近距離的觸摸蓮花。此時他突然將水珠滴至蓮葉上，水珠竟像一顆小球滾走了，這一幕深深的烙印在我們的腦中。

一年級下學期國文課【4】曾經學過周敦頤的愛蓮說，課文中寫道：「水陸草木之花可愛者甚蕃。...予獨愛蓮之出淤泥而不染，濯清漣而不妖，中通外直，不蔓不枝，香遠益清，亭亭淨植，可遠觀而不可褻玩焉。」於是，我們嘗試去了解蓮花為何能出淤泥而不染的特性，翻閱科學期刊，上網搜尋一些與蓮花相關的知識，發現這種特性稱為自潔，老師更於資優教育方案的實驗設計課程中，試著去設計探討活動，去驗證蓮花自潔的原因。

二、研究目的

1997年，德國波昂大學的植物學家 Wilhelm Barthlott 針對這個特殊現象進行了一系列的實驗，發現了蓮花的疏水性與自我潔淨的關係，創造了「蓮花效應」(Lotus effect)一詞，同時也擁有這個商標的專利權。從此以後，蓮花效應就成了奈米科技最具代表性的名詞【7】。因限於設備及經費問題，我們使用較一般性的方法對 Wilhelm Barthlott 的實驗結果作以下幾點探討：

1. 從觀察中了解蓮花自潔效應的過程。
2. 由實驗中的數據去探究蓮花效應成因與機制。

雖然本文之實驗方法比較通俗，也沒有精準的儀器作定性及定量的物性分析，但理論研究部分期能達成研究的訓練要求，使科學研究與探討的嚴謹性及務實精神能夠落實。

三、研究器材與設備

量角器、塑膠板、鉸鍊、角鐵、螺絲、螺絲釘、鏢帽、墊片、滴管、美工刀、蓮葉、芋頭葉、姑婆芋葉、玉蘭葉。

四、研究過程和方法

(一)、文獻探討

宋朝文人周敦頤，於『愛蓮說』中對蓮精闢的描述：「蓮之出淤泥而不染，濯清漣而不妖，中通外直，不蔓不枝，香遠益清，亭亭淨植，可遠觀而不可褻玩焉...蓮，花之君子也。」

【4】說明了蓮之所以如君子，在於出淤泥而不染。

從媒體廣告大量出現『奈米』，諸如奈米光觸媒、奈米燙髮等等，這個現代最流行的名詞究竟是什麼？我們積極的去了解奈米的涵義就是微小化，更具體的說奈米科技就是將原子及分子組合成新的奈米結構，進而由奈米結構藉奈米技術組合成新的材料，簡單說，奈米科技的主體就是材料【5】。直覺上，這個尖端科技在先進的實驗室中被研究，與遠古時代就存在的植物-蓮花應該沒有關聯，其實不然，因奈米現象一直存在於我們生活的自然環境中，例如：蜜蜂體內存有磁性奈米粒子具有導航羅盤功能。

蓮花之出淤泥而不染，是因為蓮葉的葉面為奈米結構，這種結構具有超疏水性，能使葉面與污染物或水滴的接觸面積達到最小，約只佔總面積的 2~3%，經過一場大雨後，污染物便隨水滴從葉面滾落【6】，在具有疏水性的光滑表面，水滴只會以滑動的方式移動，並不會帶走污染物，因此不具有自潔的能力。1997 年，德國波昂大學的植物學家 Wilhelm Barthlott 及其研究小組針對這個特殊現象進行了一系列的實驗，研究小組利用人造的污染物，例如：乾土壤、顏料粉、樹厥的孢子...等等【7】，污染了赫蕉、倪藤、玉蘭、林山毛櫸、蓮葉、芋葉、甘藍、*Mutisia decurrens* 等八種植物的葉面，分別以人造雨及人工霧清洗八種植物的葉面。人造雨的實驗結果發現蓮葉、芋葉、甘藍、*Mutisia decurrens* 這四種植物，污染物所殘留的比例皆小於 5%，而赫蕉、倪藤、玉蘭、林山毛櫸的殘留率是取決於污染物的粒子，粒子越小越易清除。將人造雨這項控制變因改為人工霧並再度測試，實驗結果發現這八種植物的，污染物所殘留的比例皆大於人造雨的數值，因此雨滴的動能越大越有利於清除污染物。接著再以測角器 G1 裝備（水準顯微鏡）測量了靜態接觸角，發現其接觸角皆於大於 130°，於是便推論除了葉面的奈米結構外，接觸角需大於 130°，蓮花效應較易顯著。一但蓮葉葉面纖毛受到物理磨損或化學性侵蝕，受到破壞的葉面會喪失蓮花效應的功能【9】。

對於這個天然的奈米結構，我們設計系列的觀察與實驗，試圖從活動中去獲得更多奈米世界的知識。畢竟，奈米科技將是影響二十一世紀人類生活至鉅的一門科學，也是主導人類進步與改變的重要課題。

1、蓮葉組成成分之探討

透過電子顯微鏡觀察蓮葉的表面結構，發現蓮葉表面有奈米級的纖毛，這些纖毛主

要是由大量的蠟所組成的，也因此讓蓮葉具有超疏水性的特色。除此之外，奈米級的纖毛結構，使得污染粒子或水分子接觸面積變小，造成污染粒子或水分子不容易沾附於上，因而達到自潔的功效，這也就是「蓮花出淤泥而不染」的原因。

2、接觸角的探討

接觸角的形成主要是固液氣所決定的，以空氣作為與植物接觸之媒介時，固體的可濕性視固-液的介面張力、固-氣的介面張力及液-氣的介面張力而定。此表面張力之比例是由水珠表面之接觸角及楊格方程式： $\text{固-氣的介面張力} - \text{固-液的介面張力} = \text{液-氣的介面張力} \cdot \cos \theta$ 所決定的。若接觸角為零，液體將完全潤濕；接觸角若為 180° ，則液體完全無法潤濕。此兩種情況皆不可能出現於植物的表皮。此外，固-氣介面張力小的物體比固-液介面張力大之物體更不易潤濕。固-液張力小之固體較易形成接觸角大的半球形水珠。若固體表面滴上一滴汞珠，他將於某一特定角度被潤濕。平衡狀態下，系統的能量被減至最小，當液-固的介面張力減少則液-氣的介面張力增加。在此狀況下，水會形成球狀的水珠，且接觸角幾乎是視水的介面張力而定，表面由蠟組成的物質容易被粒子堆積，且粒子通常比葉面的結構大【8】。

(二)、觀察與實驗

1、抗水性的探討

實驗一開始，我們先固定斜板的角度，如此一來 $\sin \alpha$ 就成一個定值，再滴上水珠觀察其是否能滑落，再利用抗水性方程式 $RP = 1/\sin \alpha \cdot m \cdot g$ 去計算抗水性，發現只要靜摩擦角($\sin \alpha$)固定(m 和 g 已固定)，所有葉子算出來的 RP 值都會相同。經過幾次的研究與討論後，探討出要先形成水珠，也就是接觸角要大於 140° 才会有抗水性。再將數值代入，才能比較出不同葉子間的抗水性。帶入的結果： $\sin \alpha$ 越大則 RP 值越小，因此可推論，在葉面處於很小的 $\sin \alpha$ 時水珠就會滾落，表示抗水性高；而葉面必須在很大的 $\sin \alpha$ 時水珠才會滾落，表示抗水性差。

2、抗水性的量測

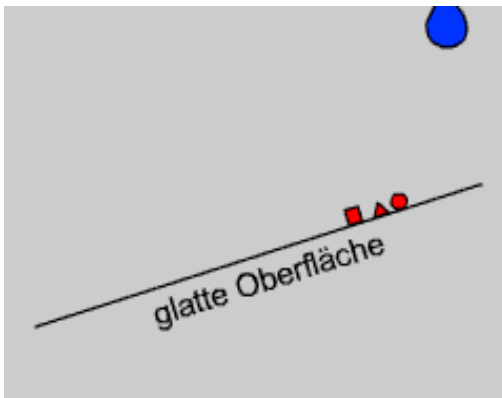
製作方法：

- (1)取一個長 45cm 寬 35cm 的塑膠板。
- (2)再取一個長 40cm 寬 33cm 的塑膠板，把它們之間用鉸鍊鎖在一起，讓小的塑膠板可以上下移動。
- (3)取一個量角器，把它用角鐵和大的塑膠板鎖在一起。
- (4)將葉子用雙面膠黏在小的塑膠板上就可測量其角度。

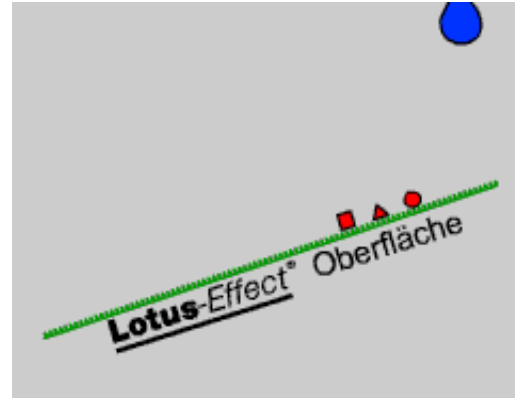
3、從觀察中了解蓮花自潔效應的過程

實驗中，我們在灑滿粉筆灰和泥土的蓮葉上滴上水滴，從平面(0°)慢慢將壓克力板的
角度調高，此時如珍珠般圓滾的水珠隨著逐漸傾斜的葉面有了小小的顫動；當到達一定
的高度，水珠受地心引力影響，開始往下滑。而在它滾動碾過葉面上的粉筆灰顆粒因為
被沾到而附著於水珠的表面，進而被水珠帶著滾動，越下滑所攜帶的粉筆灰的量就越多，
近看就像一顆長滿凸粒的球，因此造成水珠的重量增加，直到最後太重而迅速滾離葉面，
將蓮葉上的污染物帶離達到清潔的效果。若是像下雨時有足夠的水滴量，再加上雨水降
下的動能，則整片蓮葉的自潔效率會更好。如圖一至圖十二所示。

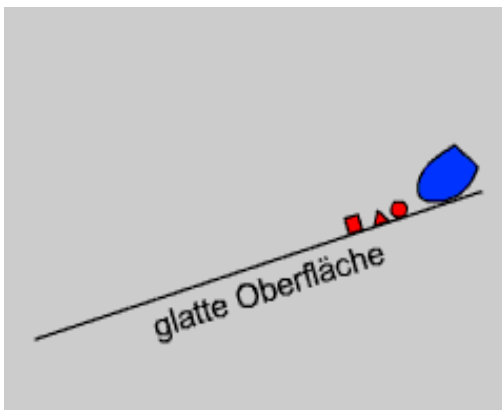
一般葉與蓮葉形成機制對照圖



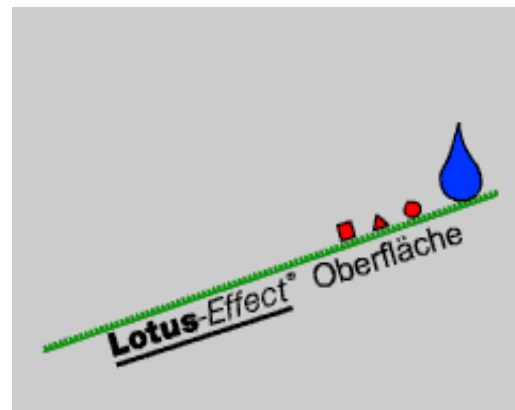
圖一、水珠滴入一般葉



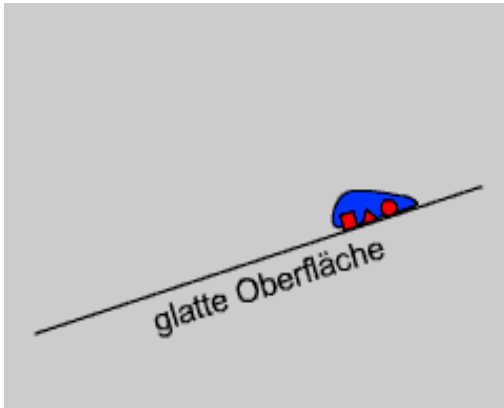
圖二、水珠滴入蓮葉



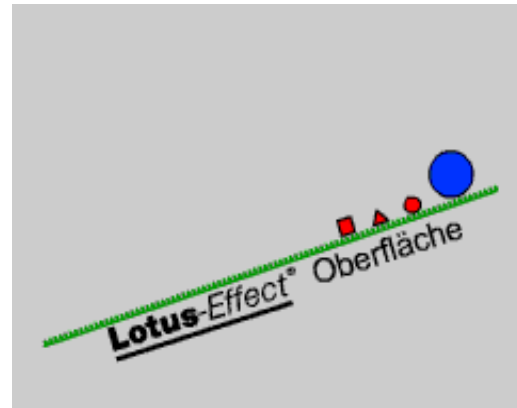
圖三、一般葉接觸角的形成



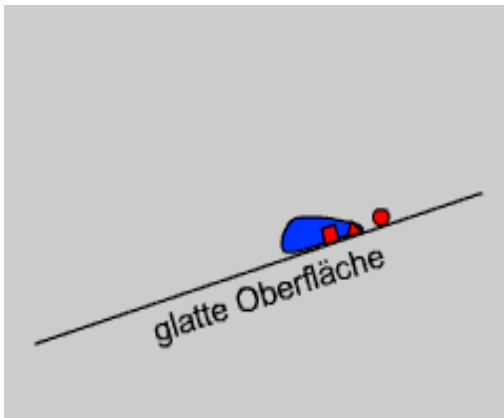
圖四、蓮葉接觸角的形成



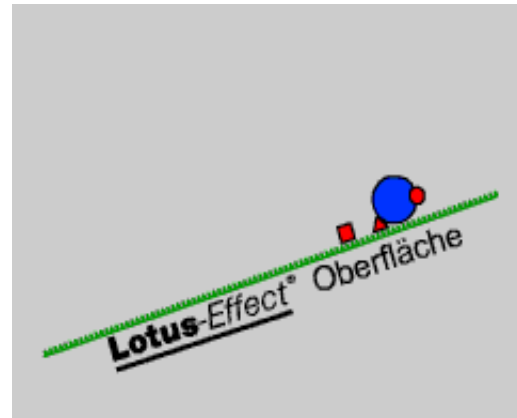
圖五、一般葉水珠的接觸角小



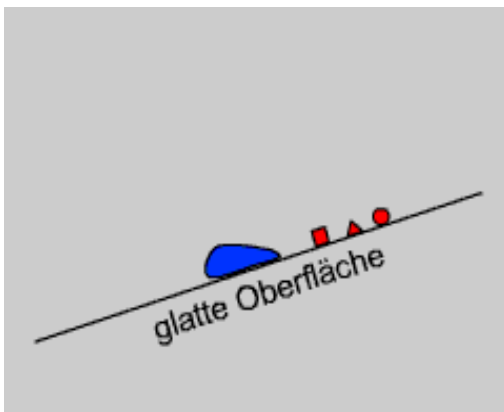
圖六、蓮葉水珠的接觸角大



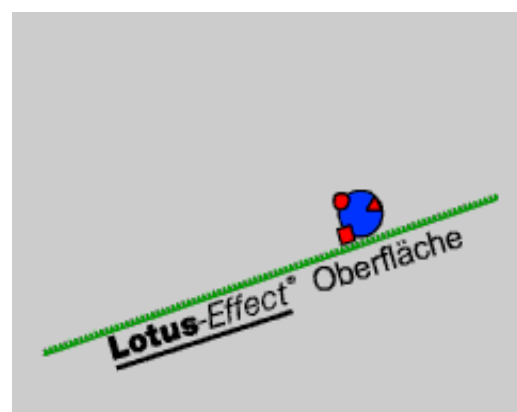
圖七、水珠穿透污染物



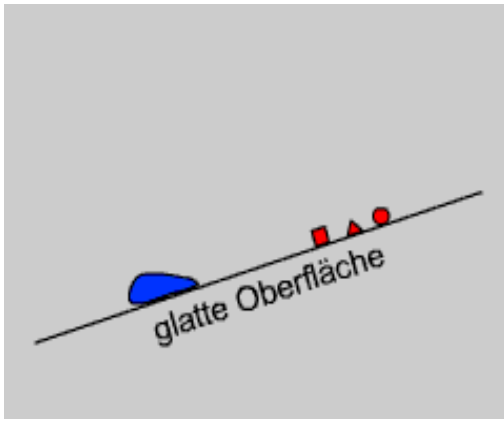
圖八、污染物附著於水珠上



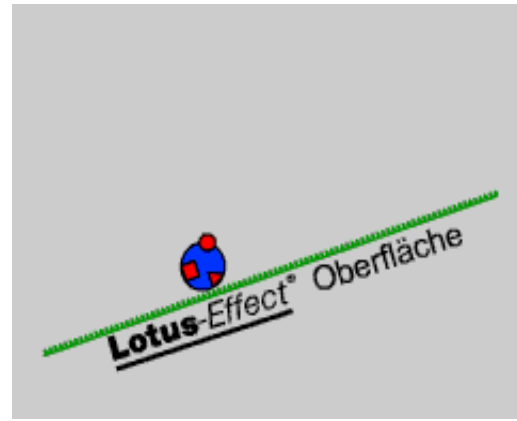
圖九、水珠穿透污染物



圖十、污染物隨水珠滾出葉面



圖十一、污染物仍附著於葉面上



圖十二、污染物被清除

資料來源: http://www.botanik.uni-bonn.de/system/lotus/de/prinzip_html.html

五、研究結果

由實驗中的數據去探究蓮花效應成因與機制，結果如下：

表(1)滴一滴水時，植物葉面之 $\sin\alpha$ 值

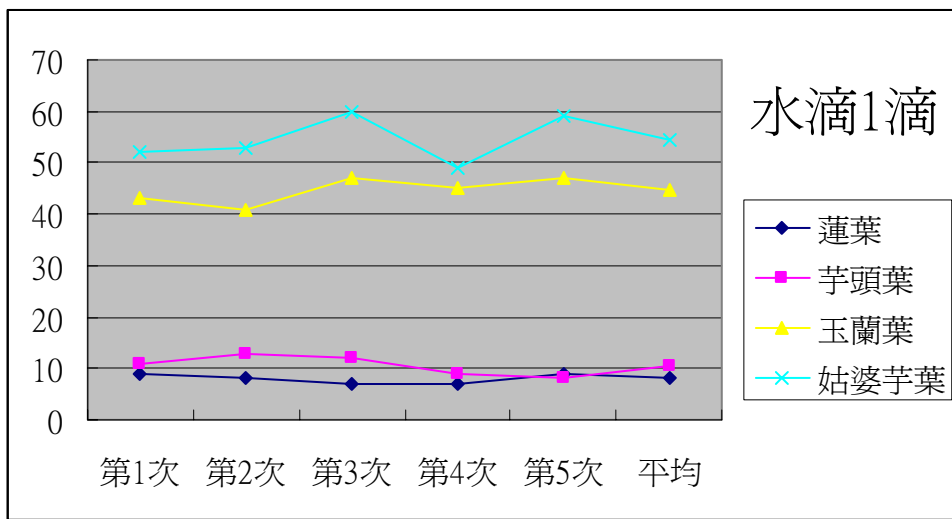
水滴 1 滴						
植物	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均
蓮葉	9	8	7	7	9	8
芋頭葉	11	13	12	9	8	10.6
玉蘭葉	43	41	47	45	47	44.6
姑婆芋葉	52	53	60	49	59	54.6

表(2)滴二滴水時，植物葉面之 $\sin\alpha$ 值

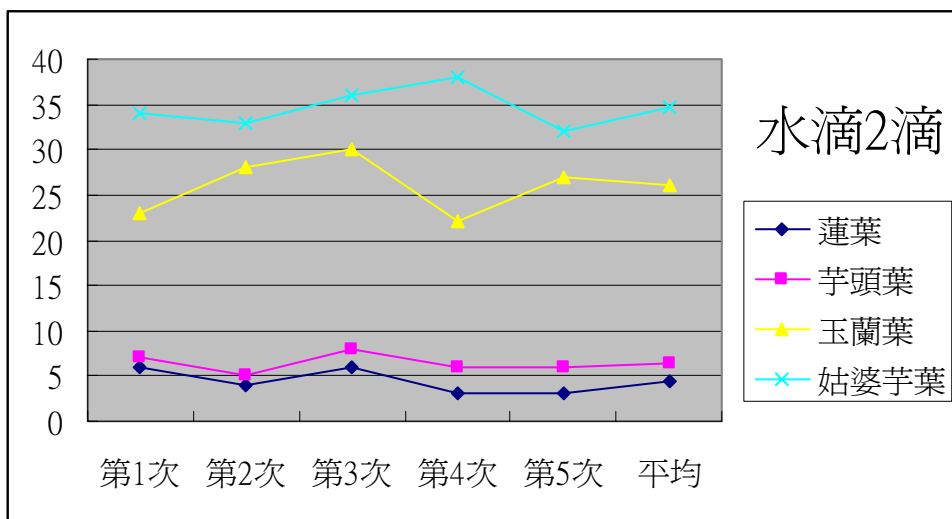
水滴 2 滴						
植物	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均
蓮葉	6	4	6	3	3	4.4
芋頭葉	7	5	8	6	6	6.4
玉蘭葉	23	28	30	22	27	26
姑婆芋葉	34	33	36	38	32	34.6

表(3)滴三滴水時，植物葉面之 $\sin\alpha$ 值

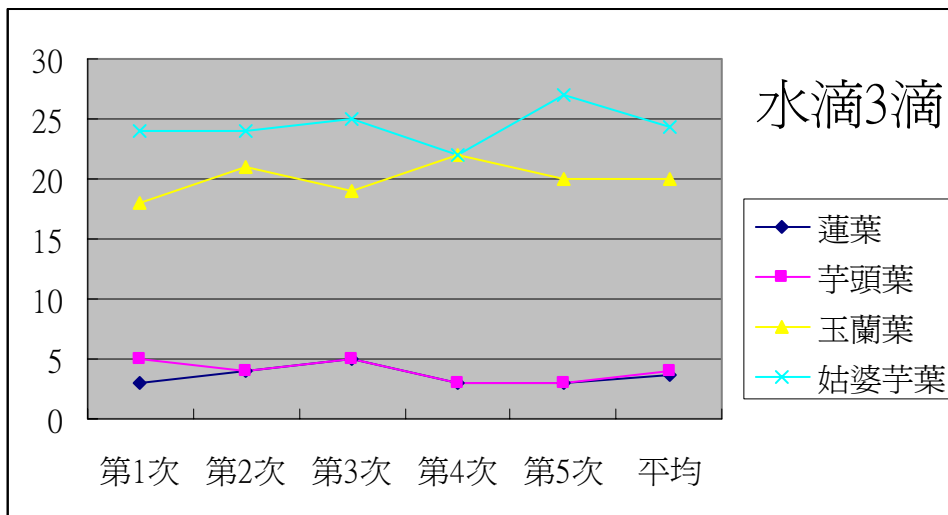
水滴 3 滴						
植物	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均
蓮葉	3	4	5	3	3	3.6
芋頭葉	5	4	5	3	3	4
玉蘭葉	18	21	19	22	20	20
姑婆芋葉	24	24	25	22	27	24.4



圖十三



圖十四



圖十五

表(4)

	蓮葉 1 滴	蓮葉 2 滴	蓮葉 3 滴	芋頭葉 1 滴	芋頭葉 2 滴	芋頭葉 3 滴
sin α 平均	8°	4.4°	3.6°	10.6°	6.4°	4°
抗水性 RP 值	0.425	0.387	0.315	0.32	0.266	0.283
	玉蘭葉 1 滴	玉蘭葉 2 滴	玉蘭葉 3 滴	姑婆芋 1 滴	姑婆芋 2 滴	姑婆芋 3 滴
sin α 平均	44.6°	25.8°	20°	52.6°	35°	24.4°
抗水性 RP 值	0.076	0.065	0.057	0.065	0.049	0.046

$$RP = 1/\sin\alpha \cdot m \cdot g \quad m:0.03g \quad g:9.8m/s \cdot s$$

六、討論

從表(1)~表(3)中可以看出在無污染的葉面上滴上一滴水時蓮葉和芋頭葉約在 13 度以內水滴就會從葉面上滑落，而玉蘭葉和姑婆芋葉卻要 40 度以上。兩滴水時蓮葉和芋頭葉在 8 度以內滾落，玉蘭葉和姑婆芋葉還在 22 度以上。三滴水時蓮葉和芋頭葉在 5 度以內，玉蘭葉和姑婆芋葉都還在 19 度以上。因此我們得知蓮葉和芋頭葉抗水性佳，玉蘭與姑婆芋則幾乎沒有明顯的抗水性，只有在水滴較大或動能大時較易滾動，且葉面極易有水殘留。水滴若較大，葉面角度不需太大，水便能離開葉面。在泥沙上一滴水時，蓮葉約 18.8 度時水滴會從蓮葉上滑落，而玉蘭卻要 51.4 度。最後，在粉筆灰上一滴水時，蓮葉約 13.6 度時水滴會從蓮葉上滑落，而玉蘭卻要 48.4 度。這就證明了蓮葉上的奈米結構和蠟結晶會使水滴約在 16 度時就會滑落，而因為玉蘭沒有奈米結構和蠟結晶，所以要更大的角度才會滑落。而水滴的質量若越大，水珠產生的動能就越大，所產生的最大靜摩擦角越小。

實驗後，我們認為一定要先在葉面上形成接觸角大於 110 度的水珠，才能有較好的抗水性，如果只用抗水性的方程式 $RP = 1/\sin\alpha \cdot m \cdot g$ 去計算，發現只要靜摩擦角($\sin\alpha$)固定，所算出來的 RP 值就會相同，因此我們便與指導老師討論，結果被一語道破，會如此的原因是我們沒有將接觸角大小的因素考慮進去。接觸角大的植物上面的水珠，在很小的 $\sin\alpha$ 就會滾落，表示抗水性高；而接觸角小的植物上的水滴，必須在很大的 $\sin\alpha$ 才會滾落，表示抗水性差。之後，我們以實驗數據帶入 $RP = 1/\sin\alpha \cdot m \cdot g$ 中計算 RP 值，由表(4)得到的數據蓮葉的 RP 值大概在 4 左右，芋頭葉則在 3 上下，但玉蘭葉和姑婆芋葉卻只剩下 0.05 左右。

七、結論

達爾文曾說：「適者生存，不適者淘汰。」【7】，蓮花、芋頭葉等自潔的植物爲了抵抗自然界的污染物，演化出具有奈米結構和表面蠟質的葉面，防止污染物附著於上、葉面過於潮濕，或是細菌侵入植物體內。由巴斯洛德博士的論文和本文實驗結果【8】，我們可以發現，蓮花效應強的植物，幾乎具有高抗水性。而抗水性是來自奈米結構和表層蠟質，這兩個特質也是蓮葉、芋頭葉、甘藍等高蓮花效應的植物所具備的，所以我們推論：奈米結構和表層蠟質越發達，抗水性越好則植物葉面的蓮花效應越強。

八、參考文獻

- 【1】張立德、牟季美（民 91），*奈米材料和奈米結構*，p.2，滄海書局。
- 【2】Liz Kalaugher, "Lotus effect shakes off dirt", *nanotechweb.org.*, November 2002。
- 【3】宋隆發等（民 92），*國中國文一下*，p.132，翰林出版社。
- 【4】蔡信行、孫光中（民 93），*奈米科技導論*，新文京開發出版股份有限公司。
- 【5】郭正次、朝春光（民 93），*奈米結構材料科學*，p.10，全華科技圖書股份有限公司。
- 【6】蘇俊鐘、陳仕宏（民 92），"蓮花效應"，NCHC 奈米科學研究小組。
- 【7】郭重吉等(民 92)，*一上自然課本*，p.64，南一書局。
- 【8】W. Barthlott and C. Neinhuis, "Purity of the sacred lotus, or escape from contamination in biological surfaces" 1997, *Planta* 202, p.1
- 【9】徐世昌，2002，科學發展 354 期，p.60-63，*行政院國家科學委員會*。

評語

能自行設計製作分析設備以進行研究值得嘉許，不過研究內容的深度與廣度可再加強。另外，實驗數據如能有統計的效化處理，將可更有助於數據意義的呈現。