

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

佳作

030104

荷花葉菊花影-側面疏水性水紋與光學折射現象
探討

學校名稱：新竹縣立仁愛國民中學

作者： 國一 陳晏萱 國一 謝喆渝	指導老師： 宋美紅 梁炫禧
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：水脊、光線偏移角度、側面疏水性

摘要

本研究主要探討疏水性較大植物葉片在水中形成的水紋與葉片影子之關聯，探討不同植物、水深高低、光線方位與角度、水紋類型、水紋對光線偏移角度及水紋曲率半徑與影子變化之關聯。透過各種實驗，我們發現能明顯觀察出水紋的植物為主要影響影子變化的因素，因此我們進一步觀察了水生植物的水紋，並發現疏水性為此研究中的關鍵原理。當疏水性植物具有不規則的割痕時，由兩方葉片產生的疏水性水紋會相互交疊，使水紋更加明顯且邊際線較長，進而影響光線折射角度，影子內凹情形最為明顯。我們也計算了水生植物水紋的曲率半徑，但計算結果與實際水紋誤差較大，因此我們推論水紋可能為非線性疊加，導致計算結果與實際水紋不符。

壹、研究動機

有次，我們在照片中(圖一)發現了水池中的荷花葉片會產生像菊花的影子，並且影子邊緣處會有一條特別亮的光線沿著影子邊緣。而這種現象卻只侷限於某些植物，並不是所有植物都會發生此現象，因此我們上網查找了相關資料，但卻發現並沒有相關的文獻或實驗解釋此現象。因此我們想透過各種實驗了解是什麼原因導致葉片輪廓與影子形狀不一，而有哪些植物可以造成此現象，並進一步了解葉片在水中所呈現的水紋，為什麼會導致影子有凹進去的情形。



圖一、水池中的荷花葉片在照光下產生貌似菊花的影子

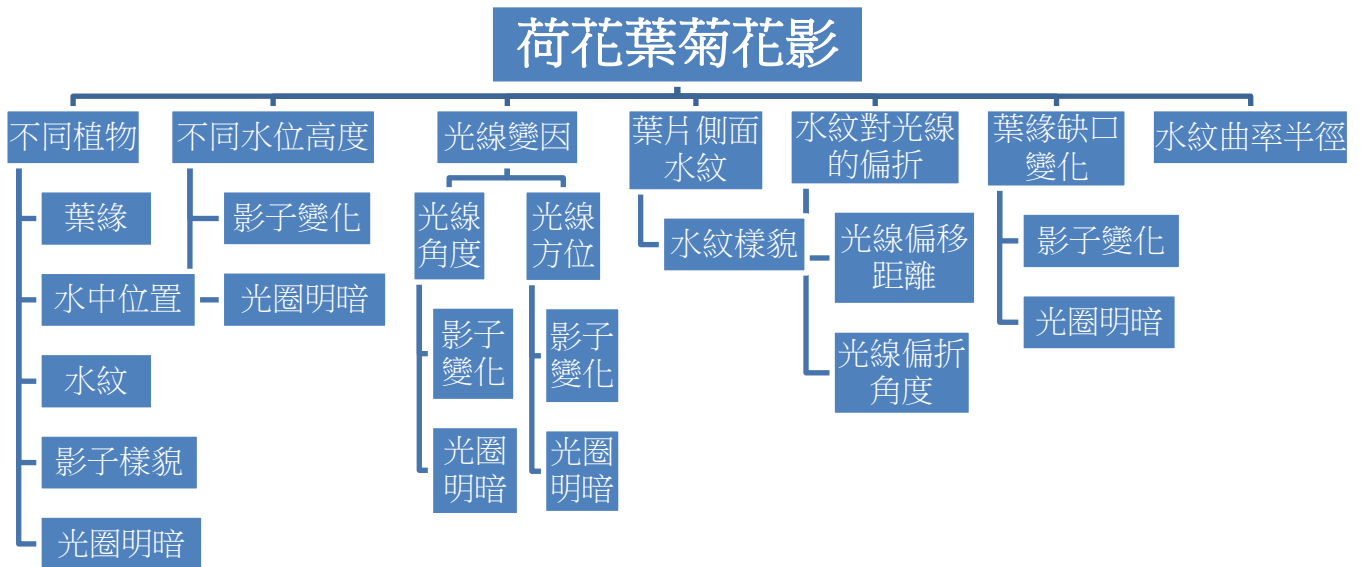
貳、研究目的與架構

- 一、探討不同植物在照光下的水中影子情形
- 二、探討不同高度的水位對植物影子的影響
- 三、探討不同光線變因對影子的影響
- 四、探討不同植物的葉片側面水紋

五、探討光線照射到不同植物葉片水紋後的偏折情形

六、探討葉緣側面缺口變化對影子的影響









七、探討不同植物的水紋曲率半徑



圖二、研究架構圖

參、研究設備及器材

表一、研究設備及器材

			
電腦顯微鏡	實驗支撐架	量角器	三腳架
			
放大鏡	顯微鏡	半圓水盒	手電筒

			
雷射筆	水平筆	美工刀	金露花 (本文以陸生 A 代稱)
			
光果龍葵 (本文以陸生 B 代稱)	酢漿草 (本文以陸生 C 代稱)	荷蓮豆草 (本文以陸生 D 代稱)	玫瑰水芙蓉 (本文以水生 E 代稱)
			
豹紋圓心萍 (本文以水生 F 代稱)	槐葉蘋 (本文以水生 G 代稱)	睡蓮 (本文以水生 H 代稱)	香香草 (本文以水生 I 代稱)

肆、研究過程與方法

一、名詞解釋

(一)蓮花效應

又稱為荷葉效應，是指蓮葉表面之超疏水性與自潔性。蓮花葉片上具有許多細小之纖維毛，使得滴落於葉面上之水珠與其之接觸角大於 140 度且使水不沾附於葉面而形成小水珠，呈現出蓮葉表面的超疏水性質。

(二)疏水性

指對水缺乏親合力，排斥水，不吸附水，接觸角較大。

(三)親水性

指對水的結合與吸收具有很強的傾向，通常用來形容膠體顆粒分散在水中的性質，接

觸角較小。

二、研究原理

(一)推論水紋類型:

類型一:附著力大於水面張力，並沿著葉緣上方附著(水面往上與葉片連結)。

類型二:附著力小於水面張力，並沿著葉緣下方附著(水面往下與葉片連結)。


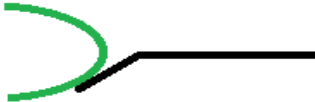




類型三:疏水性將水排開，造成葉片外圍的水紋凸起(水面與葉片交界處凸起)。

類型四:疏水性將水排開，造成葉片外圍的水紋凹下(水面與葉片交界處凹陷)。

類型五:沒有發生任何現象(水面與葉片交界處平行)。

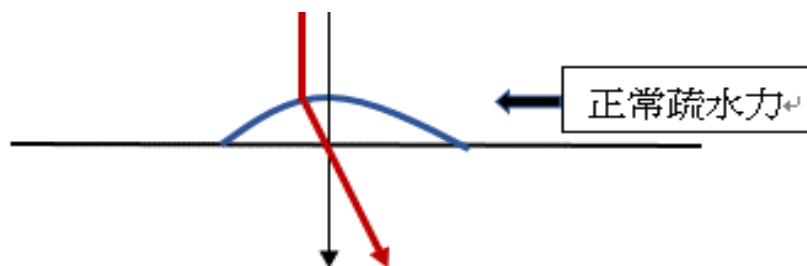
類型六:位於疏水性較大植物的葉片缺刻處，由於兩方葉片疏水性交疊，造成水紋較類型三明顯。

表二、推論水紋類型

	
類型一	類型二
	
類型三	類型四
	
類型五	類型六

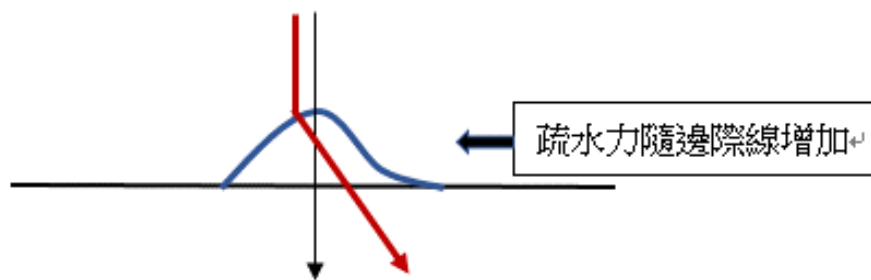
(二)疏水性較大植物水紋類型

1.一般疏水性的側面水紋:使光線有些微偏折。



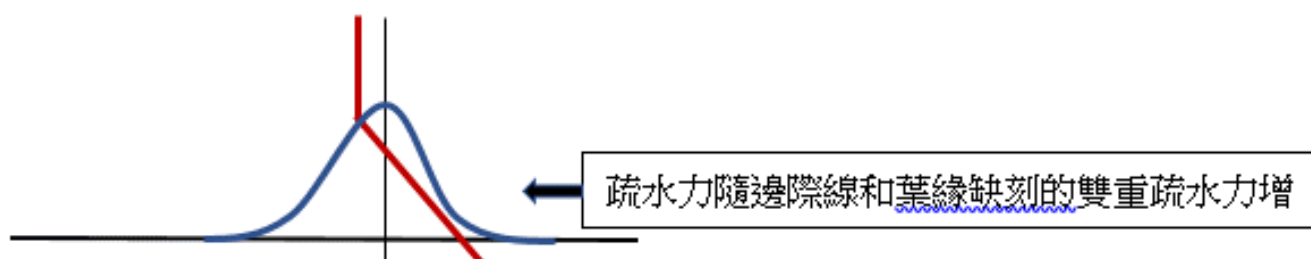
圖三、一般疏水性的側面水紋

2.疏水性植物在水中的側面水紋(葉片位於水紋右方):水紋沿著葉片產生邊際線，進而使水紋較正常疏水力的水紋高且明顯，光線偏折角度較大，出現水脊。



圖四、疏水性植物在水中的側面水紋

3.疏水性植物缺刻處的側面水紋:水紋沿著葉片缺刻處產生較長的邊際線，且由兩方葉緣的疏水力雙重交疊加上較長的邊際線，進而使水紋最為明顯且影子變化最大，光線偏折角度也最大，水脊現象更明顯。



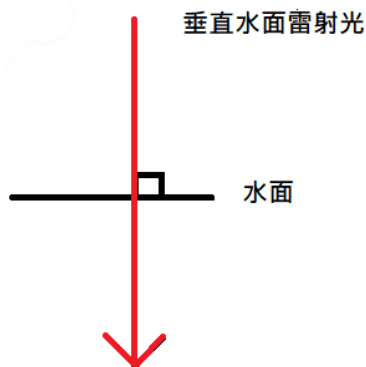
圖五、疏水性植物缺刻處的側面水紋

(三)雷射光經水紋的邊緣效應

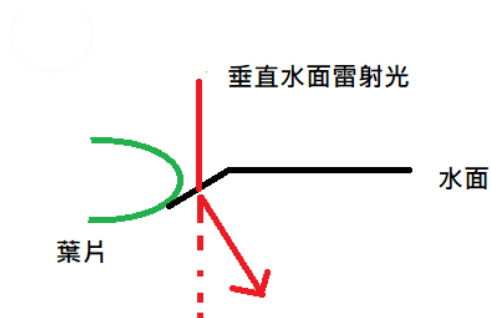
1.雷射光照到水中的情形：

(1)情形一(圖六)：垂直水面的雷射光照射在水平的水面後，光線行進方向。

(2)情形二(圖七)：垂直桌面的雷射光照射在非水平的水面後，光線偏折情形。



圖六、情形一

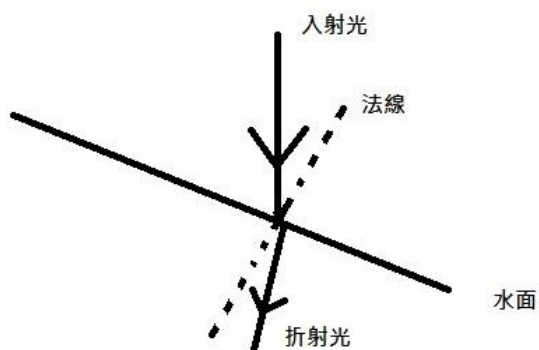


圖七、情形二

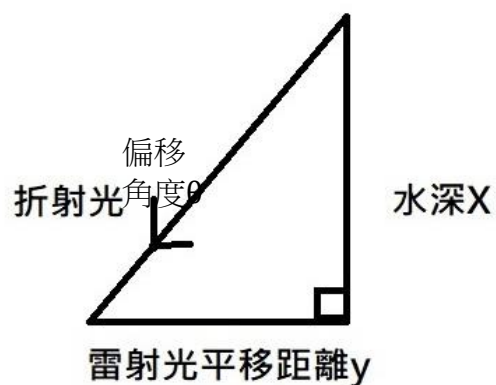
2. 垂直桌面的雷射光照射葉面水紋的光線偏折角度計算：

(1) 垂直桌面的雷射光照射在非水平的水面後，光線偏折情形，如圖八。

(2)測量半圓水盒盒底的雷射光平移距離，如圖九。



圖八、雷射光在非水平水面的光線偏折



圖九、測量雷射光

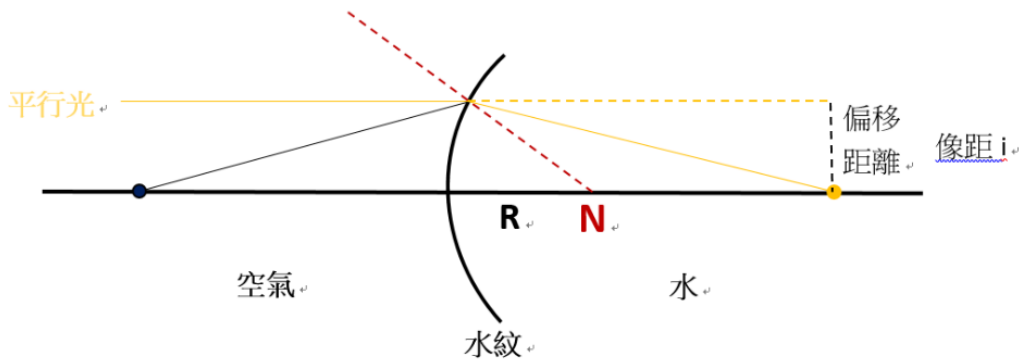
(3)雷射光經過非水平水紋後光線偏移角度換算

$$\tan \theta = \frac{y}{x} \quad \theta = \tan^{-1}(y/x)$$

θ 為弧度值，將 $\theta \times \frac{180}{\pi} =$ 偏移角度值

(四) 葉片水紋的曲率半徑計算

1. 平行光經由過葉片水紋後的行進方向(圖十)



圖十、平行光經過葉片水紋後的行進方向

2. 造鏡者公式

$$\frac{\text{光在真空中速度 } C}{\text{光在介質中速度 } V} = \text{折射率} > 1$$

$$\text{水} = \frac{4}{3} \quad \text{空氣} = 1$$

$$\frac{n_{\text{空氣}}}{o} + \frac{n_{\text{水}}}{i} = \frac{n_{\text{水}} - n_{\text{空氣}}}{R} \quad \frac{1}{o} + \frac{\frac{4}{3}}{i} = \frac{\frac{4}{3} - 1}{R} = \frac{\frac{1}{3}}{R}$$

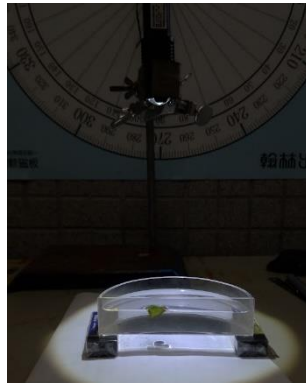
$$0 = \infty$$

$$\frac{1}{\infty} + \frac{\frac{4}{3}}{i} = \frac{\frac{4}{3} - 1}{R} = \frac{\frac{1}{3}}{R} \quad \Rightarrow \quad \frac{\frac{4}{3}}{i} = \frac{\frac{4}{3} - 1}{R} = \frac{\frac{1}{3}}{R}$$

三、實驗方法

(一) 觀察葉片與影子之變化

1. 將手電筒架設在實驗支撐架上，並在後方擺放大型量角器，光源打開時，搭配直尺與大型量角器確認光線是否與實驗所需角度相符。
2. 將裝有水的容器放置在光線下方。
3. 植物葉片放入水中。



圖十一、觀察影子的實驗裝置圖

(二)觀察水紋對雷射光偏移角度

1. 將雷射光架設在實驗支撐架上，並在後方擺放大型量角器，雷射光打開時，搭配直尺與大型量角器確認光線垂直水面 90 度。
2. 將裝有水的容器放置在光線下方。
3. 水中放入植物。



圖十二、測量雷射光偏移角度的實驗裝置圖

四、研究過程

(一)實驗一：探討不同植物在照光下的水中影子情形

1. 查找適合的陸生植物與水生植物。
2. 準備顯微鏡手電筒、實驗腳架等相關器材。
3. 先用肉眼觀察葉緣鋸齒數目，再使用顯微鏡觀察葉緣。
4. 將葉片輪流放入水深兩公分的容器中。
5. 平視水面，觀察植物在水中的位置。
6. 固定手電筒，確認與水面距離二十公分，並且垂直水面。
7. 打開手電筒光源。

- 8.觀察葉片與影子的差異，並拍照紀錄。
- 9.探討影子與葉片發生差異的可能原因。

(二)實驗二：探討不同高度的水位對植物影子的影響

- 1.使用實驗一所發現之影子與葉片差異較大的葉片進行實驗
(陸生 C、水生 E、水生 F、水生 G)。
- 2.準備手電筒、實驗腳架等相關器材。
- 3.固定手電筒，確認與水面距離二十公分，並且垂直水面。
- 4.將四種葉片輪流放入兩公分水深的容器中。
- 5.打開手電筒光源。
- 6.觀察葉片與影子的差異，並拍照紀錄。
- 7.探討影子與葉片發生差異的可能原因。

(三)實驗三：探討不同光線變因對影子的影響

- 1.不同照光方位對影子的影響
 - (1)使用實驗一所發現之影子與葉片差異較大的葉片進行實驗
(陸生 C、水生 E、水生 F、水生 G)。
 - (2)準備手電筒、實驗腳架等相關器材。
 - (3)固定手電筒，確認與水面距離二十公分，並且垂直水面。
 - (4)打開手電筒光源。
 - (5)將四種葉片輪流放入兩公分水深的容器中。
 - (6)移動葉子確定方位正確。
 - (7)觀察葉片與影子的差異，並拍照紀錄。
 - (8)探討影子與葉片發生差異的可能原因。
- 2.不同照光角度對影子的影響
 - (1)使用實驗一所發現之影子與葉片差異較大的葉片進行實驗
(陸生 C、水生 E、水生 F、水生 G)。
 - (2)準備手電筒、實驗腳架等相關器材。
 - (3)固定手電筒，確認與水面距離二十公分。
 - (4)打開手電筒光源。
 - (5)將四種葉片輪流放入兩公分水深的容器中。
 - (6)分別將手電筒調至 90 度、70 度、50 度、30 度。

(7)觀察葉片與影子的差異，並拍照紀錄。

(8)探討影子與葉片發生差異的可能原因。

(四)實驗四：探討不同植物的葉片側面水紋

- 1.使用能明顯觀察出水紋的植物進行實驗
(水生 E、水生 F、水生 G)。
- 2.準備電腦顯微鏡、半圓水盒等相關器材。
- 3.將電腦顯微鏡與電腦連接。
- 4.把葉片分別放入兩公分水深的半圓水盒中。
- 5.使用電腦顯微鏡分別照射各葉片的側面水紋，並拍照紀錄。
- 6.將上述葉片分別割一刀大約 0.2 公分的切痕。
- 7.使用電腦觀察側面水紋類型與樣貌。

(五)實驗五：探討光線照射到不同植物葉片水紋後的偏折情形

- 1.使用能明顯觀察出水紋的植物進行實驗
(水生 E、水生 F、水生 G)。
- 2.準備雷射筆、放大鏡、手電筒、實驗腳架等相關器材。
- 3.把葉片分別放入兩公分水深的容器中。
- 4.使用放大鏡從側面觀察水紋，並拍照紀錄。
- 5.架設雷射筆，並確保 90 度垂直水面。
 - (1)用水平尺確定雷射筆的光大約為垂直 90 度。
 - (2)在雷射光下放一張白紙，並在雷射光點處畫一個點。
 - (3)持續微調雷射筆，直到雷射光光點從空氣或水中經過，都能與步驟(2)所畫的點重疊。
- 6.把腳架上裝有水(水深兩公分)的燒杯，連同腳架移至雷射光下。
- 7.輪流放入水生 E、F、G，並使雷射光穿透過葉片旁的水紋。
- 8.紀錄偏移後的位置，並做記號。
- 9.測量雷射光偏移長度。
- 10.用 Excel 換算出雷射光偏移角度。
- 11.紀錄並探討不同葉片水紋偏折角度。

(六)實驗六：探討葉緣側面缺口變化對影子的影響

- 1.使用能明顯觀察出水紋的植物進行實驗

(水生 E、水生 F、水生 G)。

- 2.準備手電筒、實驗腳架等相關器材。
- 3.固定手電筒，確認與水面距離二十公分。
- 4.將水生 E、水生 F、水生 G 分別先割一刀大約 0.2 公分的切痕。
- 5.打開手電筒光源。
- 6.將四種葉片輪流入兩公分的半圓水盒中。
- 7.觀察影子和切割處的水紋。
- 8.繼續使用第四步所割的葉片，並將割痕延伸至大約 0.5 公分。
- 9.觀察影子和切割處的水紋。
- 10.繼續使用第四步所割的葉片，並多切割出一道大約 0.5 公分的割痕，使葉片產生一個大約 0.5 公分的夾角。
- 11.觀察影子和切割處的水紋。
- 12.探討不同的缺口對影子產生的影響。

(七)實驗七：探討不同植物的水紋曲率半徑

- 1.使用能明顯觀察出水紋的植物進行實驗
(水生 E、水生 F、水生 G)。
- 2.將實驗五所測得的【各葉片水紋使雷射光偏移的距離】套入造鏡者公式中。
- 3.將三者葉片依序用 Excel 計算出水紋的曲率半徑。
- 4.紀錄並與探討與真實水紋是否相符。









伍、研究結果


一、探討不同植物在水中照光下影子的情形

將各植物葉片放置在 2 公分水深中，觀察各植物在水中的位置與水紋，從葉子正上方 (90 度)架設手電筒，觀察影子與光圈情形如表三。

表三、不同植物在水中照光下影子的情形

植物種類	葉緣 (鋸齒數)	葉緣 (顯微鏡下)	放入水中 的位置	葉片 水紋	影子與 葉片情形	光圈	圖片
------	-------------	--------------	-------------	----------	-------------	----	----

陸生 A	12	平整	水面下	無	相似	無	
陸生 B	8	平整	水面下	無	相似	無	
陸生 C	6	平整	水面間	有	明顯差異	有	
陸生 D	0	平整	水面下	有	相似	無	
水生 E	0	平整	水面間	有	明顯差異	有	
水生 F	0	平整	水面間	有	明顯差異	有	
水生 G	0	平整	水面間	有	明顯差異	有	
水生 H	0	平整	水面下	無	相似	無	

水生 I	33	平整	水面下	無	相似	無	
------	----	----	-----	---	----	---	-------------------------------------------------------------------------------------

承表三觀察結果，歸納如下：

- (一)並非所有水生植物都浮於水面間，導致無法觀察出明顯水紋。
- (二)浮在水面間的植物都能產生光圈。
- (三)光圈的產生可能和水紋有直接關聯。
- (四)陸生 C、水生 E、水生 F 的光圈較為明顯。
- (五)陸生 C、水生 E、水生 F、水生 G 都能明顯的觀察出葉片與影子輪廓的差異。
- (六)陸生 C、水生 E、水生 F、水生 G 都能明顯的觀察出光圈。
- (七)水生 E 和 水生 G 具有較大的疏水性。




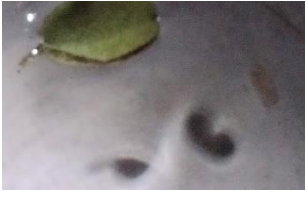
二、探討不同高度的水位對植物影子的影響

將實驗一中所發現之葉片輪廓與葉片影子差異較大或葉緣有明顯光圈的植物葉片，輪流放置在不同水深中，從葉子正上方(90 度)架設手電筒，觀察影子與光圈變化情形如表四。

表四、不同高度的水位對植物影子的影響

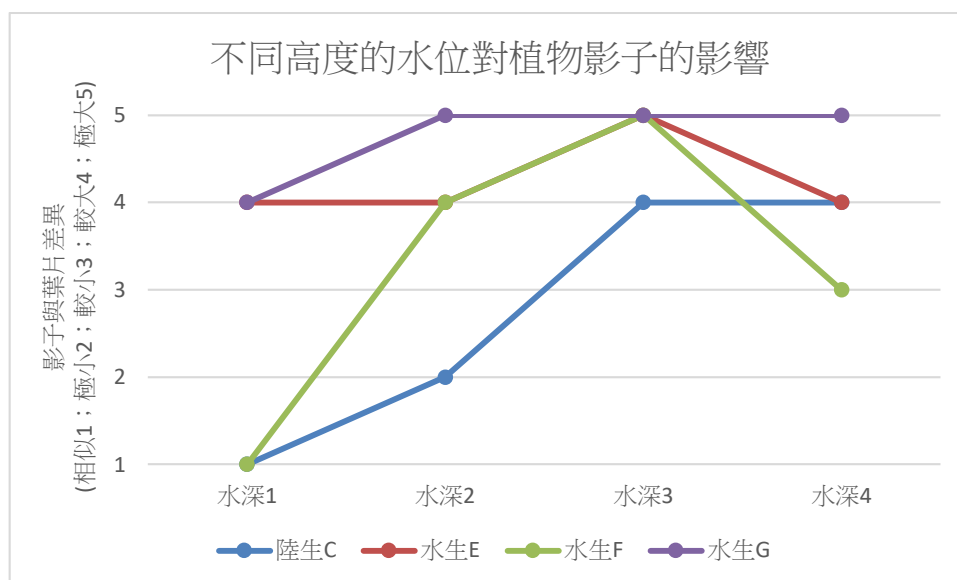
植物	水深 (cm)	1	2
陸生 C	影子	與葉片相似	與葉片差異極小
	光圈	有，範圍較小且較暗的光影亮圈	無，可能只有細微的光影亮圈，但由肉眼無法辨別
	照片		
	水深 (cm)	3	4
	影子	與葉片差異較大	與葉片差異較大
	光圈	有，範圍較小且較暗的光影亮圈	有，範圍較小且較暗的光影亮圈

	照片		
水生 E	水深 (cm)	1	2
	影子	與葉片差異較大	與葉片差異較大
	光圈	有，範圍較小但較亮的光影亮圈	有，範圍較小但較亮的光影亮圈
	照片		
	水深 (cm)	3	4
	影子	與葉片差異極大	與葉片差異較大
	光圈	有，範圍較大且較亮的光影亮圈	有，範圍較大但較暗的光影亮圈
照片			
水生 F	水深 (cm)	1	2
	影子	與葉片相似	與葉片差異較大
	光圈	無，可能只有細微的光影亮圈，但由肉眼無法辨別	有，範圍較小但較亮的光影亮圈
	照片		
	水深 (cm)	3	4
影子	與葉片差異極大	與葉片差異較小	

	光圈	有，範圍較大且較亮的光影亮圈	有，範圍較大但較暗的光影亮圈
	照片		
水生 G	水深 (cm)	1	2
	影子	與葉片差異較大	與葉片差異極大
	光圈	有，範圍較大且較亮的光影亮圈	有，範圍較大且較亮的光影亮圈
	照片		
	水深 (cm)	3	4
	影子	與葉片差異極大	與葉片差異極大
	光圈	有，範圍較大但較暗的光影亮圈	有，範圍較大且較亮的光影亮圈
	照片		

承表四觀察結果，歸納如下：

- (一)各植物對於不同水深都有稍微的影響。
- (二)水深介於 2 公分至 3 公分時，植物輪廓與影子差異最大。
- (三)水深位於 1 公分時，光圈最為不明顯。



圖十三、不同高度的水位對植物影子的影響

三、探討不同光線變應對影子的影響

(一) 不同照光方位對影子的影響

將實驗一中所發現之葉片輪廓與葉片影子差異較大或葉緣有明顯光圈的植物葉片，輪流放置在 2cm 水深，搭配不同方位的照光，影子與光圈變化情形如表五。

表五、不同照光方位對影子的影響

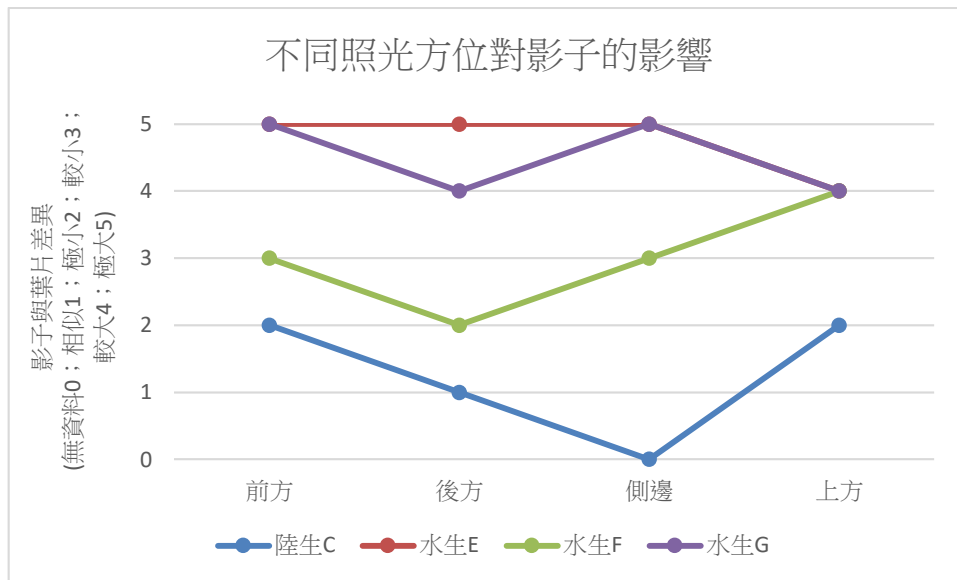
植物	照光方位	葉片前方	葉片後方
陸生 C	照光角度(度)	50	50
	影子	與葉片差異極小	與葉片相似
	光圈	有，範圍較小但較亮	有，範圍較小但較亮
	照片		
	照光方位	葉片側邊	葉片上方
	照光角度(度)	50	90
	影子		與葉片差異極小
	光圈		有，範圍較小且較暗

	照片		
水生 E	照光方位	葉片前方	葉片後方
	照光角度(度)	50	50
	影子形狀	與葉片差異極大	與葉片差異極大
	影子光影亮圈	有，範圍較大且較亮	有，範圍較大且較亮
	照片		
	照光方位	葉片側邊	葉片上方
	照光角度(度)	50	90
	影子形狀	與葉片差異極大	與葉片差異較大
	影子光影亮圈	有，範圍較大且較亮	有，範圍較小但較亮
	照片		
水生 F	照光方位	葉片前方	葉片後方
	照光角度(度)	50	50
	影子形狀	與葉片差異較小	與葉片差異極小
	影子光影亮圈	有，範圍較小且較暗	有，範圍較小且較暗
	照片		
	照光方位	葉片側邊	葉片上方
照光角度(度)	50	90	

	影子形狀	與葉片差異較小	與葉片差異較大
	影子光影亮圈	無，可能只有細微的光影亮圈，但由肉眼無法辨別	有，範圍較小且較暗
	照片		
水生 G	照光方位	葉片前方	葉片後方
	照光角度(度)	50	50
	影子形狀	與葉片差異極大	與葉片差異較大
	影子光影亮圈	有，範圍較小但較亮	有，範圍較小但較亮
	照片		
	照光方位	葉片側邊	葉片上方
	照光角度(度)	50	90
	影子形狀	與葉片差異極大	與葉片差異極大
	影子光影亮圈	有，範圍較大且較亮	有，範圍較大且較亮
	照片		

承表五觀察結果，歸納如下：

- 1.各植物從葉片側面照光時葉片與影子輪廓差異最大。
- 2.各植物對於照光方位皆無太大影響。
- 3.從此實驗可得照片中荷花葉所產生的菊花影不會因為太陽方位而有太大的影響。










圖十四、不同照光方位對影子的影響







(二)不同照光角度對影子的影響

將實驗一中所發現之葉片輪廓與葉片影子差異較大或葉緣有明顯光圈的植物葉片，輪流放置在 2cm 水深，光線搭配不同照光的角度，影子與光圈變化情形如表六。

表六、不同照光角度對影子的影響

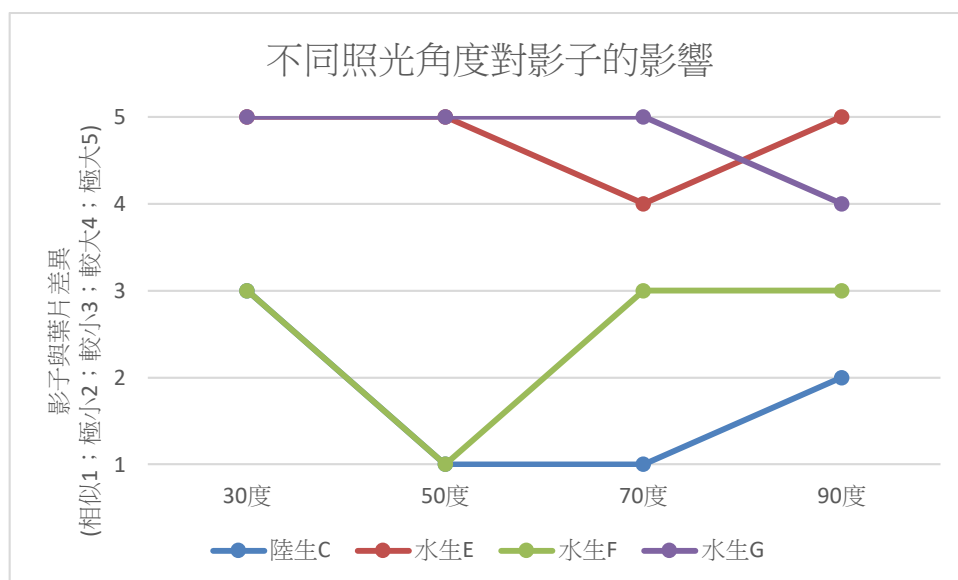
植物	照光角度(度)	30	50
陸生 C	影子	與葉片差異較小	與葉片相似
	光圈	有，範圍較小且較暗	有，範圍較小且較暗
	照片		
	照光角度(度)	70	90
	影子形狀	與葉片相似	與葉片差異極小
	影子光影亮圈	無，可能只有細微的光影亮圈，但由肉眼無法辨別	有，範圍較小且較暗

	照片		
水生 E	照光角度(度)	30	50
	影子形狀	與葉片差異極大	與葉片差異極大
	影子光影亮圈	有，範圍較大且較亮	有，範圍較大且較亮
	照片		
	照光角度(度)	70	90
	影子形狀	與葉片差異較大	與葉片差異極大
	光圈	有，範圍較大且較亮	有，範圍較大且較亮
	照片		
水生 F	照光角度(度)	30	50
	影子形狀	與葉片差異較小	與葉片差異較小
	影子光影亮圈	有，範圍較小且較暗	有，範圍較小且較暗
	照片		
	照光角度(度)	70	90
	影子形狀	與葉片差異極小	與葉片差異較小
	影子光影亮圈	無，可能只有細微的光影亮圈，但由肉眼無法辨別	有，範圍較小且較暗

	照片		
水生 G	照光角度(度)	30	50
	影子形狀	與葉片差異極大	與葉片差異極大
	影子光影亮圈	有，範圍較大且較亮	有，範圍較小但較亮
	照片		
	照光角度(度)	70	90
	影子形狀	與葉片差異極大	與葉片差異較大
	影子光影亮圈	有，範圍較小但較亮	有，範圍較大且較亮
	照片		

承表六觀察結果，歸納如下：

- 1.光線介於 90 度時，各植物的葉片輪廓與影子差異最大。
- 2.光線角度對於疏水性較大的植物沒有太大的影響。




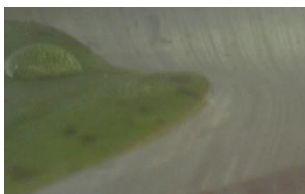







圖十五、不同照光角度對影子的影響

四、探討不同植物的葉片側面水紋

將實驗一中所發現之葉片輪廓與葉片影子差異較大或葉緣有明顯光圈且能產生明顯水紋的水生植物葉片，輪流放置在 2cm 水深的半圓水盒，用電腦顯微鏡照射觀察葉片水紋情形如表七。

表七、不同植物的葉片側面水紋

	完整葉片	0.5 公分割痕	0.5 公分小角
水生 E			
水生 F			
水生 G			




承表七觀察結果，歸納如下：

- (一)水生 F 在切割 0.5 一刀時，水紋不易觀察，與無切割水紋相似。
- (二)水生 E 和 水生 G 在切割 0.5 一刀時，水紋較無切割處高。
- (三)水生 E 和 水生 G 在切割 0.5 小角時，水紋較切割一刀不明顯，但較無切割處明顯。
- (四)以上三種植物葉片在切割小角時的水紋與無切割水紋較為相似。

五、探討光線照射到不同植物葉片水紋後的偏折情形

將實驗一中所發現之葉片輪廓與葉片影子差異較大或葉緣有明顯光圈且能產生明顯水紋的水生植物葉片，輪流放置在 2cm 水深，從葉子正上面(90 度)架設雷射筆，使雷射筆垂直水面，照射葉片的水紋後之折射情形(水面與桌面 3.5cm) 如表八。

表八、光線照射到不同植物葉片水紋後的偏折情形

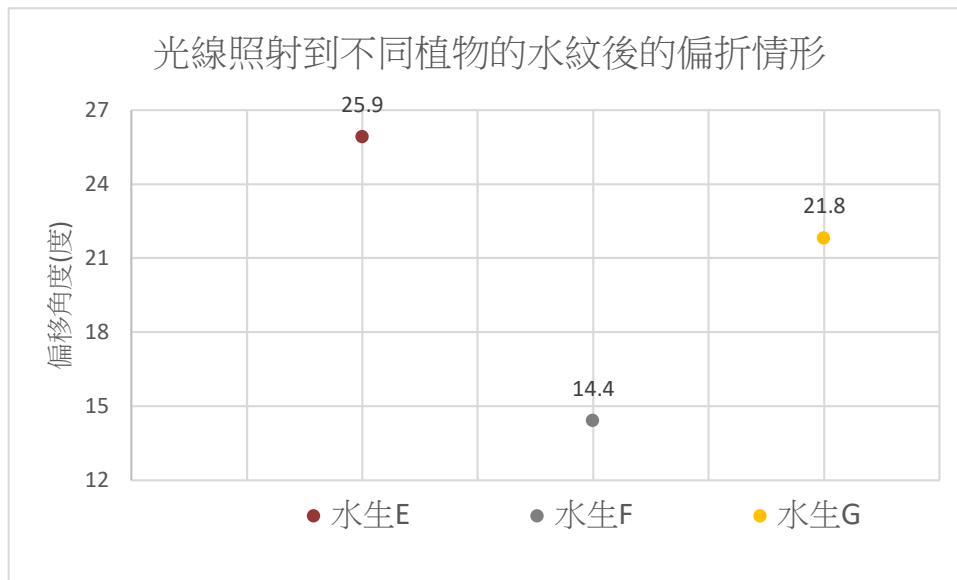
植物種類	水紋描述	水紋	實驗	雷射光平移距離 (cm)	雷射筆偏移角度 (度)
水生 E	類型 3		一	1.6	24.6
			二	1.7	25.9
			三	1.7	25.9
			平均	1.7	25.9
水生 F	類型 1		一	0.9	14.4
			二	0.8	12.9
			三	1.0	15.9
			平均	0.9	14.4
水生 G	類型 3		一	1.4	21.8
			二	1.4	21.8
			三	1.4	21.8
			平均	1.4	21.8

承表八觀察結果，歸納如下：

- (一)水生 E 和 水生 G 的葉片水紋使雷射光偏折角度較大。
- (二)水生 E 和 水生 G 的偏折角度較為相近。

(三)水生 E 的水紋最為明顯，且偏折角度最大。

(四)水生 F 的水紋是沿著葉片產生，所以起伏較其它植物小，且偏折角度最小。






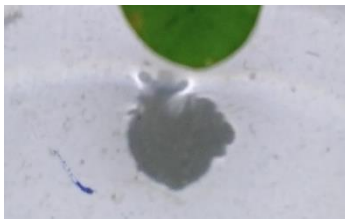

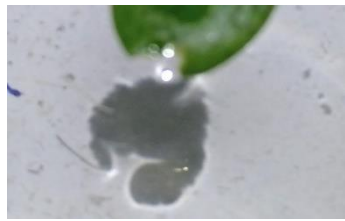



圖十六、光線照射到不同植物的水紋後的偏折情形

六、探討葉緣側面缺口變化對影子的影響

將實驗一中所發現之葉片輪廓與葉片影子差異較大或葉緣有明顯光圈且能產生明顯水紋的水生植物葉片，輪流將葉片邊緣用美工刀切割後放置在 2cm 水深，探討光線照射後的影子與光圈變化情形如表九。

表九、葉緣側面缺口變化對影子的影響

植物	實驗結果			
水生 E	葉緣	0.2cm 一刀	0.5cm 一刀	0.5cm 小角
	影子	有明顯的凹痕	有明顯的凹痕	有明顯的凹痕
	光圈	有，較無切割處的範圍大且較亮	有，較無切割處的範圍大且較亮	有，與無切割處相似
	照片			
水生 F	葉緣	0.2cm 一刀	0.5cm 一刀	0.5cm 小角

	影子	無明顯的凹痕	無明顯的凹痕	有明顯的凹痕
	光圈	有，與無切割處相似	有，與無切割處相似	有，與無切割處相似
	照片			
水生 G	葉緣	0.2cm 一刀	0.5cm 一刀	0.5cm 小角
	影子	有明顯的凹痕	有明顯的凹痕	有明顯的凹痕
	光圈	有，與無切割處類似	有，與無切割處類似	有，與無切割處類似
	照片			

承表九觀察結果，歸納如下：

- (一)0.5 公分切痕葉片的影子較 0.2 公分切痕葉片的影子凹陷程度深且明顯。
- (二)水生 F 在切割 0.2 和 0.5 一刀時，影子無太大改變。
- (三)水生 F 切割 0.5 小角時，影子與葉片切割處相似。

七、探討不同植物的水紋曲率半徑

將實驗五所測得的【各葉片水紋使雷射光偏移的距離】套入造鏡者公式中，用 Excel 計算出水紋的曲率半徑(如表十)，紀錄並與探討與真實水紋是否相符。

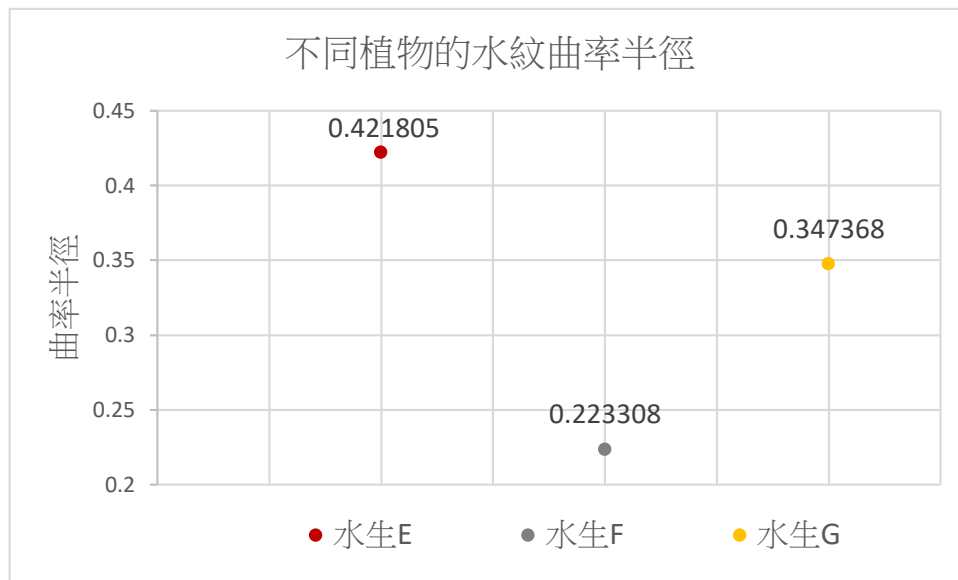
表十、不同植物的水紋曲率半徑

	水生 E	水生 F	水生 G
雷射光平移距離(cm)	1.7	0.9	1.4
曲率半徑	0.421805	0.223308	0.347368

承表十計算結果，歸納如下：

- (一)水生 E 的曲率半徑最大。
- (二)水生 F 的曲率半徑最小。

(三)水生 E 和 水生 F 曲率半徑相差較大。



圖十七、不同植物的水紋曲率半徑

陸、討論

- 一、使用容器(燒杯)觀察葉片水紋會導致水紋產生折射現象,觀察結果與實際情形不符，因此觀察水紋時使用半圓水盒觀察。
- 二、陸生 C 有時浮於水面間，有時浮於水面下，推論與葉片在水中浸泡的時間有關。
- 三、研究中的光圈變化和影子變化皆為同一人判斷，因此不會因人而有異同。
- 四、進行不同高度的水位對植物影子的影響的實驗前，有先嘗試使用 5 公分的水位進行實驗，但影子成像較為不明顯。
- 五、進行不同照光方位對影子的影響時，陸生 C 的側面照光與後方照光位置相同，因此沒有列入實驗中。
- 六、用肉眼從旁水平直視時，水紋越明顯，光影亮圈的範圍越大，且亮度較亮。
- 七、用肉眼從旁水平直視時，水紋越明顯，影子與葉片的差異越大。
- 八、疏水性較大的植物所產生的水紋較明顯，間接導致影子產生折射現象。
- 九、實驗中的影子皆為亮暗光折射，而非狹縫繞射和干涉造成透鏡現象，因為在實驗的過程中沒有發現七彩的光線。
- 十、此效應所產生的影子較局限於具有疏水性的植物，其餘水生植物也能產生水紋，只是較為不明顯，且影子變化較小。
- 十一、進行實驗五(光線照射到不同植物的水紋後的偏折情形)時，已儘量將雷射光照射在相

同水紋位置上，但仍會有不可避免的誤差。

十二、實驗七所用造鏡者公式算出的數值和實際水紋偏差很多，表示葉片邊緣缺口造成的水紋可能是非線性疏水力疊加的結果。

十三、照片中的荷花葉所產生的菊花影，主要是由兩個因素產生：

(一)荷花具有疏水性，進而產生明顯水紋。

(二)荷花葉的葉片具有隙縫或缺角，透過水紋將現象放大，產生菊花的影子。

柒、結論

一、探討不同植物在照光下的水中影子情形

(一)若非浮在水面間，則無法產生明顯水紋，進而導致光圈無法呈現。

(二)若非浮在水面間，則無法產生明顯水紋，進而導致葉片輪廓與影子相似。

(三)疏水性較大植物產生的水紋最為明顯。

(四)並非所有水生植物都能作為後續實驗的植物，因為並非所有水生植物都浮於水面間產生明顯水紋。

(五)如需觀察出影子是否與葉片輪廓相同，可先觀察是否有明顯水紋。

(六)陸生 C、水生 E、水生 F、水生 G 較容易觀察出影子變化和光圈，因此將會使用以上四種植物做為後續實驗主要研究的植物。

二、探討不同高度的水位對植物影子的影響

(一)水深介於 2 公分至 3 公分時，植物輪廓與影子差異最大且光圈較明顯。

(二)水深小於 2 公分時，葉片輪廓與影子相似，且光影亮圈較不明顯。

(三)水深大於 4 公分時，影子呈現與葉片差異不大，且光影亮圈不容易觀察，因此不列入實驗當中。

(四)水深太深和太淺都會使影子較不明顯。

(五)後續實驗皆使用 2 公分水位進行實驗。

三、探討不同光線變應對影子的影響

(一)不同照光方位對影子並無太大影響。

(二)不同照光角度對植物並無太大影響。

(三)由實驗可知照片中(圖一)的影子並不會因光線而有太大的改變，因此不用考慮太陽照射的方位與角度。

四、探討不同植物的葉片側面水紋

(一)疏水性較大植物在切割一刀時，水紋由雙重疏水性水紋交疊，因此水紋較無切割處高。

(二)疏水性較大植物在切割小角時，水紋由雙重疏水性水紋交疊，但因缺刻處相距較遠，因此水紋較切割一刀不明顯，但較無切割處明顯。

(三)無疏水性植物在切割一刀的水紋，不易觀察。

(四)無疏水性植物在切割小角時的水紋，與無切割處類似。

五、探討光線照射到不同植物葉片水紋後的偏折情形

(一)不同植物放在水中的水紋皆不同。

(二)具有疏水性的植物會產生第三種類型的水紋。

(三)並不是只有第三種水紋才會產生光圈。

(四)只要葉片放入水中會產生水紋，皆會造成光線折射，使葉片輪廓與影子不同。

(五)由實驗可得知葉片輪廓與影子不同的主要原因為水紋。

(六)疏水性植物葉片所產生的水紋，雷射光偏折角度最大。

(七)無疏水性植物葉片所產生的水紋，雷射光偏折角度最小。

六、探討葉緣側面缺口變化對影子的影響

(一)疏水性較大的植物只需有細微的切痕，即使肉眼不易觀察，在影子的呈像上都有明顯的差異，且影子具有放大的效果。

(二)疏水性較大植物切割 0.5 公分小角時，因為兩邊的疏水性水紋相聚較遠，因此水紋較 0.5 公分切痕不明顯，進而導致光線折射角度較小，影子內凹情形較不明顯。

(三)疏水性較大植物在切割 0.5 一刀時，葉片輪廓與影子差異最大。

(四)各植物葉片在切割小角時，葉片輪廓與影子相似。

(五)無疏水性植物葉片在切割一刀時，影子無太大改變。

七、探討不同植物的水紋曲率半徑

(一)水生 E 的曲率半徑最大，但曲率半徑越大代表水紋越平，而從水紋觀察中卻發現水生 E 的水紋最為明顯。

(二)計算出的曲率半徑結果與實際水紋相反。

(三)實驗結果與事實水紋並不相符，因此水紋應為非線性疊加，而非圓弧。

八、總結

經過種種實驗後，我們認為是因為荷花葉片具有疏水性，因此產生疏水性水紋，再加上荷花的葉片上應有肉眼不易觀察的裂痕，導致疏水性水紋雙從交疊，使水紋更加明顯，光線向內偏折角度更大，進而產生貌似菊花的影子。

疏水性的植物葉片水紋與實驗前推論的類型三較為相似，且具有較長的邊際線，而無疏水性的植物葉片水紋則與類型一的水紋較為相似。

當在具有疏水性的植物葉片上切割一刀時，會使疏水性水紋雙從交疊，水紋較為明顯，因此光線向內偏折的角度較大，進而使影子內凹情形更為明顯，且影子具有放大的效果；而在具有疏水性的植物葉片上切割小角時，因兩方葉片距離較切割一刀時寬，疏水性水紋交疊情形較不明顯，因此水紋明顯程度介於無切割處與切割處之間。

當在無疏水性的植物葉片上切割一刀時，水紋不易觀察，影子無太大改變；而在具有疏水性的植物葉片上切割小角時，水紋與無切割處相似，葉片輪廓與影子相似。

得知荷花的葉片為什麼會產生菊花的影子後，我們計算了水紋的曲率半徑，但計算結果與實際水紋不符，因此水紋應為非線性疊加，導致水文弧度無法使用造鏡者公式計算得知。

捌、參考資料及其他

一、陳俊清、洪連輝(2010) • 蓮花效應〈Lotus effect〉 • 科學 Online • 檢自

<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=20462>

二、疏水性 • 國家教育部研究院樂詞網 • 檢自

<http://terms.naer.edu.tw/detail/04563366177aeff3debdb355cc414257/?startswith=zh&seq=1>(Mar.11,2023)

三、親水性 • 國家教育部研究院樂詞網 • 檢自

<http://terms.naer.edu.tw/detail/deadf37d559ddbc7f2ba6e118d53dd71/?startswith=zh&seq=1>

【評語】 030104

本研究為親疏水性、光學折射的生物應用。嘗試了許多不同水陸生植物的葉片。有相當不錯的觀察力發現生物在環境中所造成之物理現象。不過實驗的結果可以再做進一步與更貼近物理根源的分析與歸納，讓報告較為完善。

作品海報

A photograph of a pond with several large, green lily pads floating on the water. The water surface is dark, and there are prominent, dark shadows cast by the lily pads, suggesting a low sun position. The overall scene is a natural, outdoor setting.

荷花葉菊花影-

側面疏水性水紋與光學折射現象探討

摘要

本研究主要探討疏水性較大植物葉片邊緣缺陷在水面形成水脊對光線的折射情形，此水脊將使光線折射入陰影中形成菊花狀的影子，探討不同植物、水深高低、光線方位與角度、水紋類型、水紋對光線偏移角度及水紋曲率半徑與影子變化之關聯。透過各種實驗，我們發現能明顯觀察出水紋的植物為主要影響影子變化的因素，因此我們進一步觀察了水生植物的水紋，並發現疏水性為此研究中的關鍵原理。當疏水性植物具有不規則的葉緣缺陷時，由兩方葉片產生的疏水性水紋會相互交疊，使水紋更加明顯且邊際線較長，產生明顯的水脊，進而影響光線折射角度，影子內凹情形最為明顯。我們嘗試計算水紋區率半徑，發現水的水面X軸，Y軸曲度差很多，X軸方向疑似為非線性疊加，因此我們推論水紋可能無法使用單純造境者公式計算。

壹、研究動機

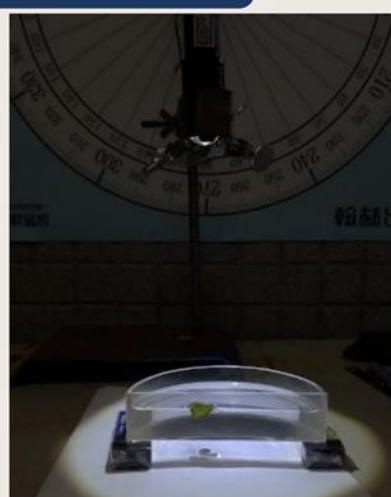
有次，我們在照片中(圖一)發現了水池中的荷花葉片會產生像菊花的影子，並且影子邊緣處會有一條特別亮的光線沿著影子邊緣。因此我們想透過各種實驗了解是什麼原因導致影子形狀與葉片輪廓不一，而有哪些植物可以造成此現象，並進一步了解葉片在水中所呈現的水紋，為什麼會導致影子有凹進去的情形。



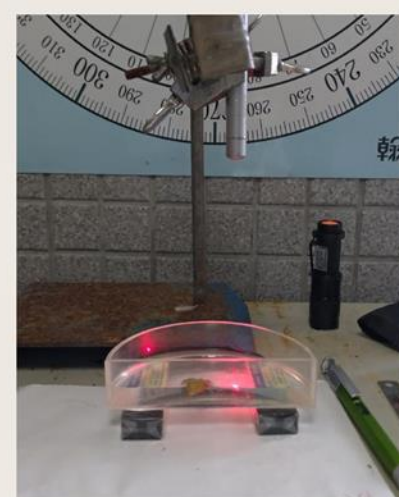
圖一、荷花葉片在水池中產生貌似菊花的影子

貳、研究目的與實驗裝置圖

- 一、探討不同植物在照光下的水中影子情形
- 二、探討不同高度的水位對植物影子的影響
- 三、探討不同光線變因對影子的影響
- 四、探討不同植物的葉片側面水紋
- 五、探討光線照射到不同植物葉片水紋後的偏折情形
- 六、探討葉緣側面缺口變化對影子的影響
- 七、探討不同植物的水紋曲率半徑



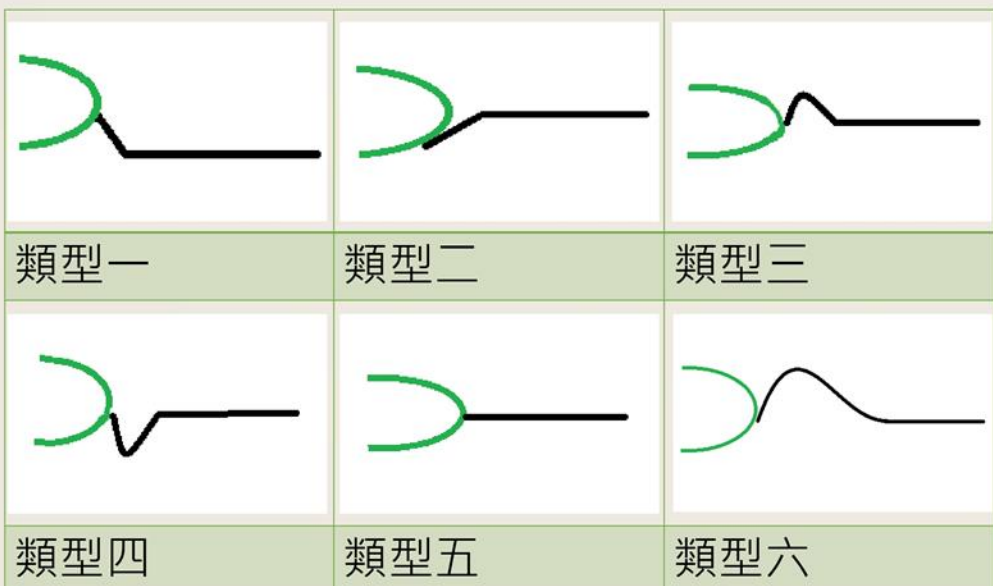
圖二、觀察影子的實驗裝置圖



圖三、測量雷射光偏移角度的實驗裝置圖

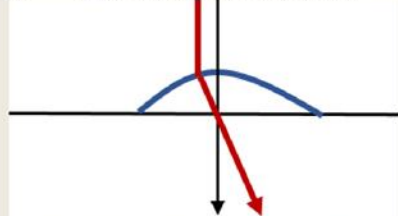
參、研究原理

一、推論水紋類型

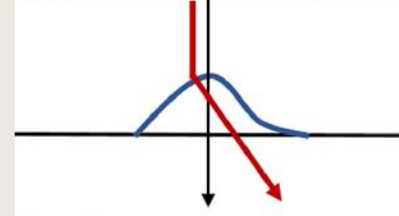


二、疏水性較大植物葉片水紋類型與光線折射

- 1.一般疏水性水紋:
- 2.疏水性植物在水中的水紋:

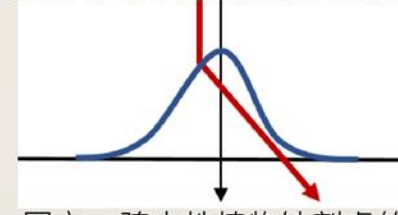


圖四、一般疏水性的側面水紋



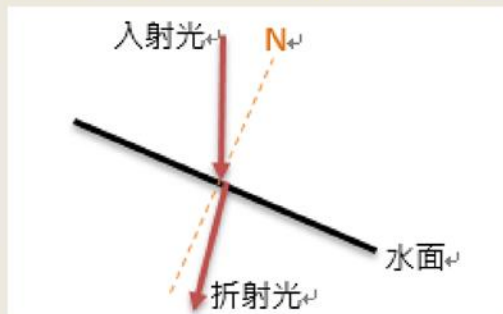
圖五、疏水性植物在水中的側面水紋

- 3.疏水性植物葉片缺刻處的水紋:

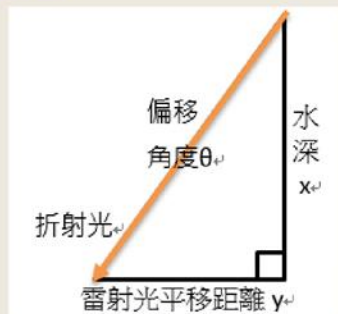


圖六、疏水性植物缺刻處的側面水紋

三、雷射光經水紋的折射情形



圖七、非水平水面的光線偏折



圖八、光線偏折角度計算

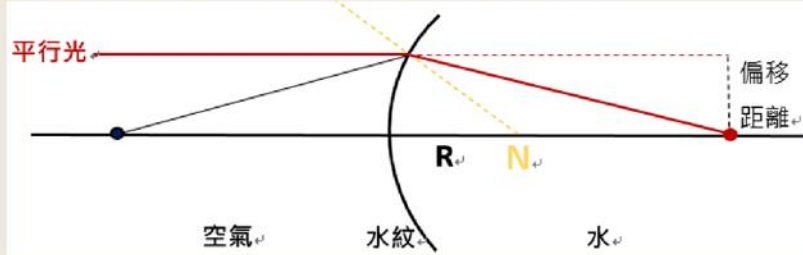
$$\tan \theta = \frac{y}{x}$$

θ 為弧度值

$$\theta = \tan^{-1}(y/x)$$

$$\theta \times \frac{180}{\pi} = \text{偏移角度值}$$

四、葉片水紋的曲率半徑計算



圖九、光線經由水紋的偏移情形

光在真空中速度c = 折射率 > 1 水 = $\frac{4}{3}$ 空氣 = 1
光在介質中速度v

$$\frac{n_{\text{空氣}}}{o} + \frac{n_{\text{水}}}{i} = \frac{n_{\text{水}} - n_{\text{空氣}}}{R} \Rightarrow \frac{1}{o} + \frac{4}{3} = \frac{4-1}{R} = \frac{1}{R}$$

$$\frac{1}{\infty} + \frac{4}{3} = \frac{4-1}{R} = \frac{1}{R} \Rightarrow \frac{4}{3} = \frac{4-1}{R} = \frac{1}{R}$$

肆、研究過程

一、探討不同植物在照光下的水中影子情形

1. 用肉眼觀察葉緣鋸齒數目，再使用顯微鏡觀察葉緣
2. 將葉片輪流放入水深2公分的容器中
3. 平視水面，觀察植物在水中的位置
4. 觀察葉片與影子的差異，並拍照紀錄

二、探討不同高度的水位對植物影子的影響

1. 使用陸生C、水生E、水生F、水生G進行實驗
2. 將葉片輪流放入水深1、2、3、4公分的容器中
3. 觀察葉片與影子的差異，並拍照紀錄

三、探討不同光線變應對影子的影響

(一)不同照光方位對影子的影響

1. 使用陸生C、水生E、水生F、水生G進行實驗
2. 將葉片輪流放入水深2公分的容器中
3. 輪流移動葉子至前方、後方、側邊、正上方
4. 觀察葉片與影子的差異，並拍照紀錄

(二)不同照光角度對影子的影響

1. 使用陸生C、水生E、水生F、水生G進行實驗
2. 將葉片輪流放入水深2公分的容器中
3. 將手電筒分別調至90、70、50、30度

四、探討不同植物的葉片側面水紋

1. 使用水生E、水生F、水生G進行實驗
2. 將葉片輪流放入水深2公分的容器中
3. 使用電腦顯微鏡觀察側面水紋類型與樣貌
4. 將上述葉片輪流割0.2公分一刀和0.5小角
5. 使用電腦顯微鏡觀察側面水紋類型與樣貌

六、探討葉緣側面缺口變化對影子的影響

1. 使用水生E、水生F、水生G進行實驗
2. 將葉片分別割0.2、0.5公分一刀、0.5公分小角
3. 輪流放入水深2公分的容器中
4. 觀察葉片與影子的差異，並拍照紀錄

五、探討光線照射到不同植物葉片水紋後的偏折情形

1. 使用水生E、水生F、水生G進行實驗
2. 將葉片輪流放入水深2公分的容器中
3. 用90度雷射光穿透葉緣水紋
4. 測量雷射光偏移距離，並用Excel換算雷射光偏移角度

七、探討不同植物的水紋曲率半徑

1. 使用水生E、水生F、水生G進行實驗
2. 將實驗五所測得的【各葉片水紋使雷射光偏移的距離】套入造鏡者公式中
3. 紀錄並與探討與真實水紋是否相符

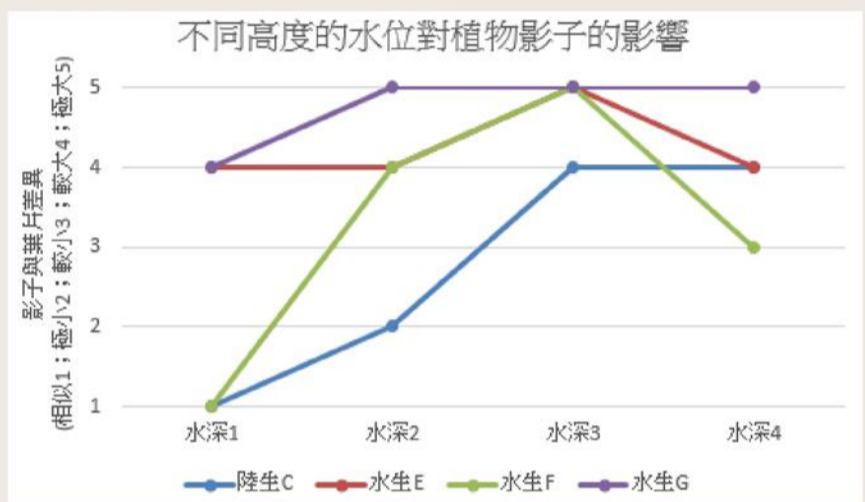
伍、研究結果

一、探討不同植物在水中照光下影子的情形

	陸生A	陸生B	陸生C	陸生D	水生E	水生F	水生G	水生H	水生I
水中位置	水面下	水面下	水面間	水面下	水面間	水面間	水面間	水面下	水面下
影子與葉片情形	相似	相似	明顯差異	相似	明顯差異	明顯差異	明顯差異	相似	相似
照片									

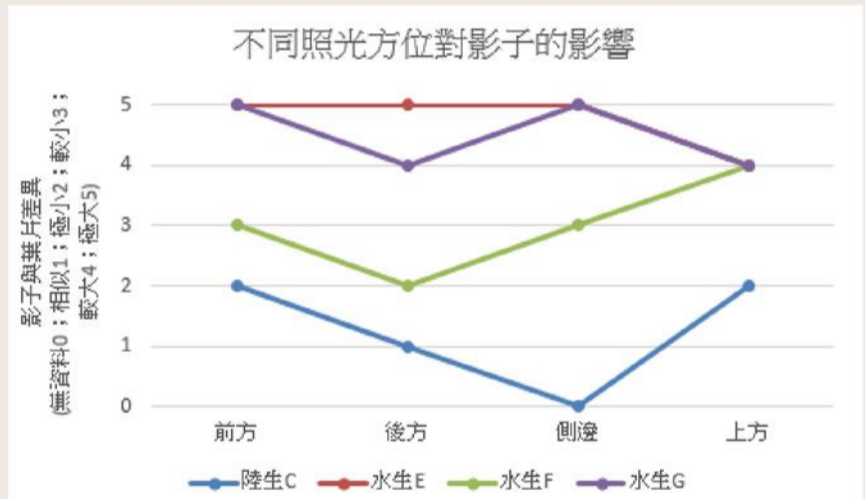
二、探討不同高度的水位對植物影子的影響

植物	水深	光圈	影子	植物	水深	光圈	影子
陸生C	1cm	有	相似	水生F	1cm	無	相似
	2cm	無	差異極小		2cm	有	差異較大
	3cm	有	差異較大		3cm	有	差異極大
	4cm	有	差異較大		4cm	有	差異較大
水生E	1cm	有	差異較大	水生G	1cm	有	差異較大
	2cm	有	差異較大		2cm	有	差異極大
	3cm	有	差異極大		3cm	有	差異極大
	4cm	有	差異較大		4cm	有	差異極大



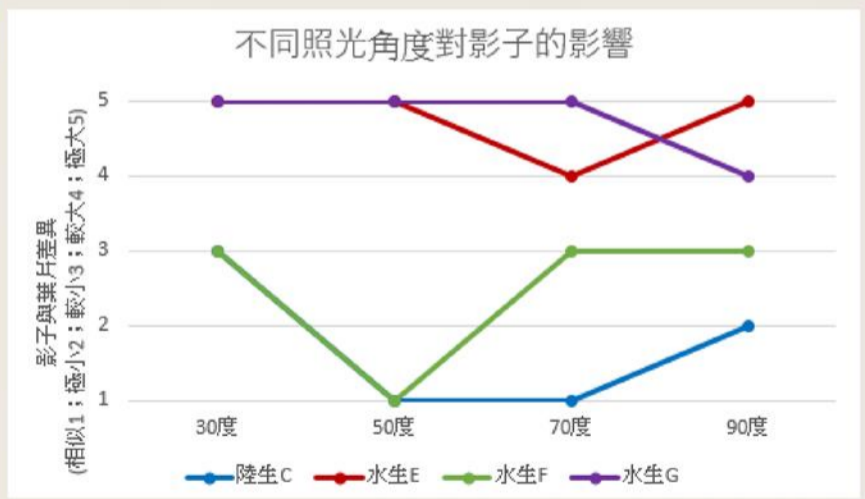
三、探討不同光線變應對影子的影響-不同方位

植物	方位	光圈	影子	植物	方位	光圈	影子
陸生C	前方	有	差異極小	水生F	前方	無	差異較小
	後方	有	相似		後方	有	差異較小
	側邊	有	相似		側邊	有	差異較小
	上方	有	差異極小		上方	有	差異較大
水生E	前方	有	差異極大	水生G	前方	有	差異極大
	後方	有	差異極大		後方	有	差異較大
	側邊	有	差異極大		側邊	有	差異較大
	上方	有	差異較大		上方	有	差異極大



三、探討不同光線變應對影子的影響-不同角度

植物	角度	光圈	影子	植物	角度	光圈	影子
陸生C	30	有	差異較小	水生F	30	有	差異較小
	50	有	相似		50	有	差異較小
	70	無	相似		70	無	差異極小
	90	有	差異極小		90	有	差異較大
水生E	30	有	差異極大	水生G	30	有	差異極大
	50	有	差異極大		50	有	差異極大
	70	有	差異較大		70	有	差異極大
	90	有	差異極大		90	有	差異較大



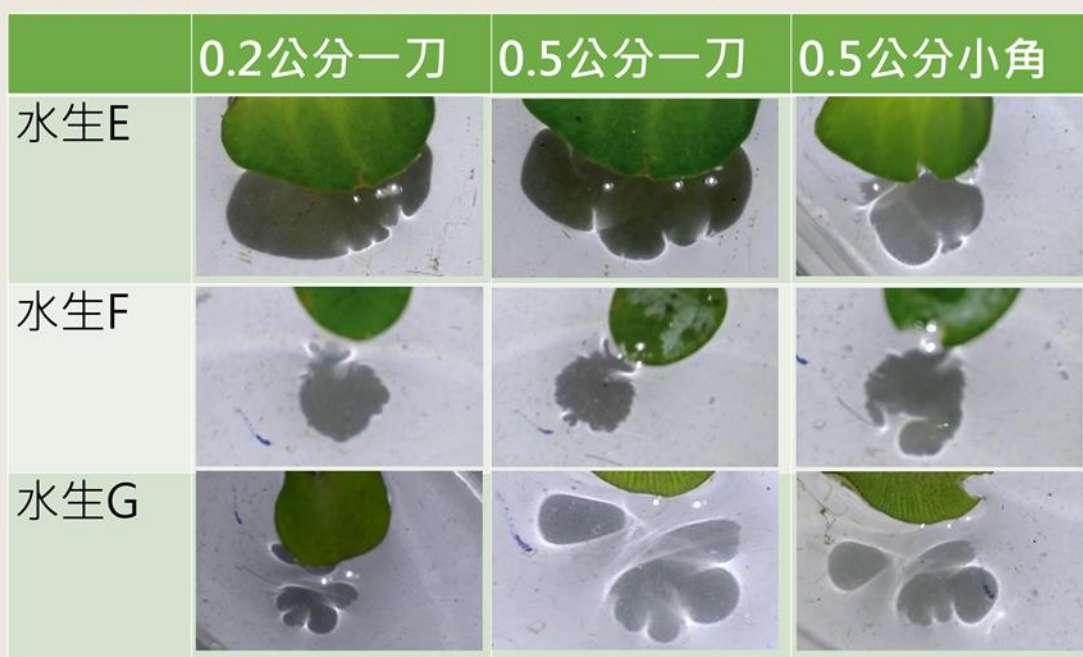
四、探討不同植物的葉片側面水紋

	完整葉片	0.5公分割痕	0.5公分小角
水生E			
水生F			
水生G			

五、探討光線照射到不同植物葉片水紋後的偏折情形

植物種類	水紋描述	水紋	雷射光平移距離(cm)	雷射筆偏移角度(度)
水生E	類型3		1.7	25.9
水生F	類型1		0.9	14.4
水生G	類型3		1.4	21.8

六、探討葉緣側面缺口變化對影子的影響



七、探討不同植物的水紋曲率半徑

	水生E	水生F	水生G
雷射光平移距離(cm)	1.7	0.9	1.4
曲率半徑	0.421805	0.223308	0.347368

不同植物的水紋曲率半徑

雷射光平移距離	曲率半徑	植物
1.7	0.421805	水生E
0.9	0.223308	水生F
1.4	0.347368	水生G

陸、討論

- 一、我們始終沒有在實驗的過程中發現七彩的光線，因此實驗中的影子皆為**亮光折射**，而非**狹縫繞射**和**干涉**造成透鏡現象。
- 二、陸生C有時浮於水面間，有時浮於水面下，推論與葉片在水中浸泡的時間有關。
- 三、進行不同高度的水位對植物影子的影響實驗前，有先嘗試使用 5 公分的水位進行實驗，但影子成像較為不明顯，推論為**半影光干擾**。
- 四、進行不同照光方位對影子的影響時，陸生C的側面照光與後方照光位置相同，因此沒列入實驗。
- 五、進行光線照射到不同植物葉片水紋後的偏折情形(實驗五)時，已儘量將雷射光照射在相同水紋位置上，但仍會有不可避免的誤差。
- 六、實驗七所用造鏡者公式算出的數值和實際水紋偏差很多，表示葉片邊緣缺口造成的**水脊**可能是**非線性疏水力疊加**的結果。
- 七、此效應所產生的影子較局限於具有疏水性的植物，其餘水生植物也能產生水紋，只是較為不明顯且影子變化較小。

柒、結論

- 一、照片中的荷花葉所產生的菊花影，主要是由兩個因素產生：
 - (一)荷花具有疏水性，因此產生**第三種類型的水紋**(疏水性水紋)。
 - (二)荷花葉的葉片具有**肉眼不易觀察的裂痕**，導致疏水性**水紋雙從交疊**，使水紋更加明顯，產生特殊水脊現象。
- 二、當葉片浮於水面間時，能產生明顯凸紋，進而導致光線聚集，產生亮光，而在實驗一中**陸生C**、**水生E**、**水生F**、**水生G**皆會浮於水面間。
- 三、探討完不同的水位變因後，我們發現水位太高會使影子有**半影干擾**現象，影子成像不明顯。
- 四、探討完不同的光線變因後，不同光線對植物葉片影子皆無太大影響，因此照片中(圖一)的影子不會因為**平行的太陽光**有太大的影響。
- 五、透過實驗四，發現具有疏水性的植物葉片水紋與實驗前推論的類型三較為相似，且具有較長的**邊際線**，而無疏水性的植物葉片水紋則與類型一的水紋較為相似。
- 六、在具有疏水性的植物葉片上切割一刀時，會使**疏水性水紋雙從交疊**，水紋較無切割處明顯，切割小角時，因兩方葉片距離較切割一刀時寬，疏水性水紋交疊情形較不明顯，因此水紋明顯程度介於無切割處與切割處之間。
- 七、在無疏水性的植物葉片上切割一刀時，水紋不易觀察，切割一角時，水紋與無切割處相似。
- 八、類型三的水紋(疏水性水紋)，會使光線向內偏折的角度較大，進而使影子內凹情形更加明顯，而無疏水性水紋也會有光線偏折的情形，只是光線偏折角度較疏水性植物葉片水紋小。
- 九、於葉片上切割一刀或小角時，對於具有疏水性的植物葉片即使是肉眼不易觀察的裂縫，在影子的成像也會由明顯的差異，且影子具有放大的效果，其中切割0.5一刀時，影子的改變幅度最大。
- 十、在無疏水性植物葉片在切割0.2一刀和0.5一刀時，影子都無太大改變，切割0.5小角時影子則與葉片輪廓較為相似。
- 十一、我們嘗試計算水紋區率半徑，發現水的水面X軸，Y軸曲度差很多，X軸方向疑似為非線性疊加，因此我們推論水紋可能無法使用單純造鏡者公式計算。

捌、參考資料及其他

- 一、陳俊清、洪連輝(2010)·蓮花效應〈Lotus effect〉·科學Online·檢自 <https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=20462>
- 二、疏水性·國家教育部研究院樂詞網·檢自 <http://terms.naer.edu.tw/detail/04563366177aef3debdb355cc414257/?startswith=zh&seq=1>
- 三、親水性·國家教育部研究院樂詞網·檢自 <http://terms.naer.edu.tw/detail/deadf37d559ddbc7f2ba6e118d53dd71/?startswith=zh&seq=1>