

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

080114

罩得住-虹吸鐘排水速度與虹吸拉力之研究

學校名稱：新北市新莊區中信國民小學

作者： 小五 黃正昭 小五 余暉和 小五 胡宸瑄 小五 劉語涵	指導老師： 鍾賢忠 許蕙婷
---	---------------------

關鍵詞：虹吸現象、排水速度、虹吸拉力

摘要

魚菜共生系統中，植床內常有虹吸鐘的設計，當植床水位過高時，能透過虹吸鐘將水排出，但排水速度若太慢，則會因為注水速度太快而導致植床淹水，使水淹出植床，想解決這問題，除了改變注水速度外，也可從調整虹吸鐘排水速度的方式來進行。根據研究，通管內徑、出水管長度和出水角度會影響虹吸鐘排水時的虹吸拉力值，使得虹吸鐘排水速度有所差異，而進水縫隙、罩子內徑和罩內通管高度雖然不會影響排水速度，但是在虹吸鐘裝置中都有各自的功能。最後我們總結各實驗變因的結果，設計了一個能隨時調整進水縫隙、罩內通管高度和排水速度的虹吸鐘裝置。此外，也解決了當虹吸鐘通管內徑太大會使虹吸現象消失而無法將植床內的水排出的情形。

壹、前言

一、研究動機

自然教室外有一套簡易魚菜共生系統，有次我們發現盆內虹吸鐘將水排出時，因排水速度比注水速度慢，水直接從水盆上方流出。這現象讓我們產生了研究興趣，若不讓水從水盆上方流出，除了降低注水速度外，是否能加快虹吸鐘的排水速度呢？所以我們想探討虹吸鐘的排水速度受到那些條件的影響。另外，若是要在盆子內種一些非水耕的植物，水位長期太高勢必會讓植物的根泡爛，因此也想研究是否有什麼方式可以控制盆內的水位高度。

二、研究目的

- (一)設計虹吸鐘裝置
- (二)探討通管內徑大小和虹吸鐘排水速度的關係
- (三)探討罩子與底盆間隙(進水縫隙)和虹吸鐘排水速度的關係
- (四)探討罩子內徑大小和虹吸鐘排水速度的關係
- (五)探討罩內通管高度和虹吸鐘排水速度的關係
- (六)探討罩外通管(出水管)長度和虹吸鐘排水速度的關係
- (七)探討通管出水角度和虹吸鐘排水速度的關係
- (八)探討大內徑通管產生虹吸現象的方法
- (九)探討虹吸鐘排水速度與虹吸拉力的關係
- (十)自製可以控制排水速度與植床最低水位的虹吸裝置

三、文獻探討

(一)虹吸現象在生活中的應用

四年級時，我們曾經學過利用虹吸現象換魚缸水，生活中有許多應用虹吸現象的例子，例如九龍公道杯、馬桶內水管通道設計、洗手台底部水管通道設計等，如圖 1。



圖 1：生活中應用到虹吸現象的裝置

(二)魚菜共生系統的虹吸鐘

對於水產養殖魚業來說，魚菜共生系統空間非常大，可分為魚池、硝化池與水耕池。而我們實驗中所研究的虹吸鐘，常用在小規模的魚菜共生系統上(如圖 2)。

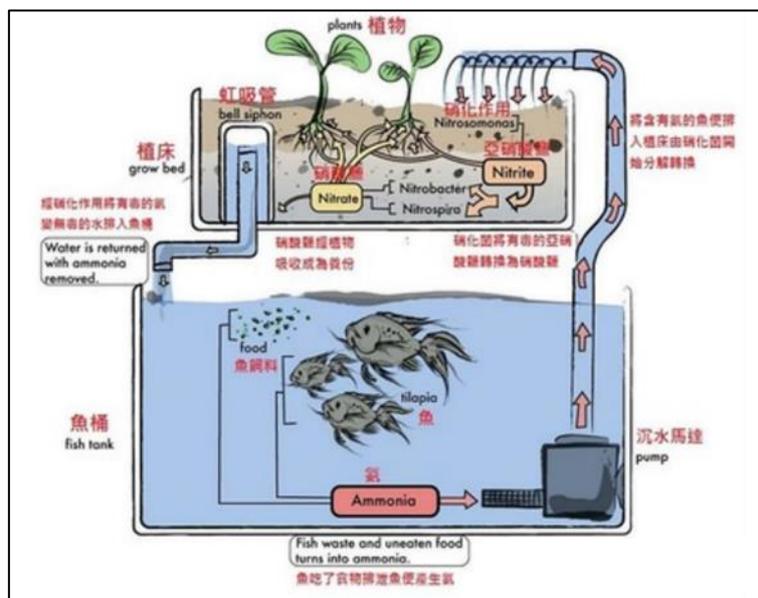


圖 2：魚菜共生裝置圖

在魚菜共生系統裡，栽種的植物以水耕植物為主，若想栽種非水耕的植物，則需植床幫忙，若植床水位沒控制好，會讓植物的根吸收不到水分或使根長時間泡在水中而腐爛。為了避免這種情形，會在系統中加裝虹吸鐘(也可以用虹吸管)裝置。借助虹吸鐘就可以控制植床內水位高度，當水位上升時可以讓植物的根吸收到水分與養分，而水位下降後，石子與石子之間的空隙則含有空氣，適合植床內硝化菌等微生物生長。硝化菌會把魚便中所含的氮轉化為植物能吸收的養分，這樣對植物的生長有較良好的效果。

貳、研究設備及器材

- 一、實驗器材：壓克力板、壓克力管、水管、護貝膠膜、膠帶、熱熔膠、熱熔膠槍、PP 塑膠板、Y-360 塑膠杯、鋁箔紙、瓶蓋、雙面膠、電鑽、游標尺、長尺、水盆、剪刀、美工刀、矽利康、平板與手機
- 二、實驗軟體：Avidemux 軟體(分析影片畫格時間的軟體)

叁、研究過程或方法

一、實驗構想與流程

根據文獻敘述，虹吸鐘的設計能控制植床內水位高度與升降所需時間。而升降時間受到注水速度和虹吸鐘排水速度影響。經過討論後，我們這次暫不考慮注水速度，僅研究植床在固定水量時，哪些條件會影響虹吸鐘排水速度。只要能找到控制排水速度的條件，未來的延伸實驗再搭配注水速度，就能調整植床內水位升降所需時間。圖 3 是實驗構想與流程圖。

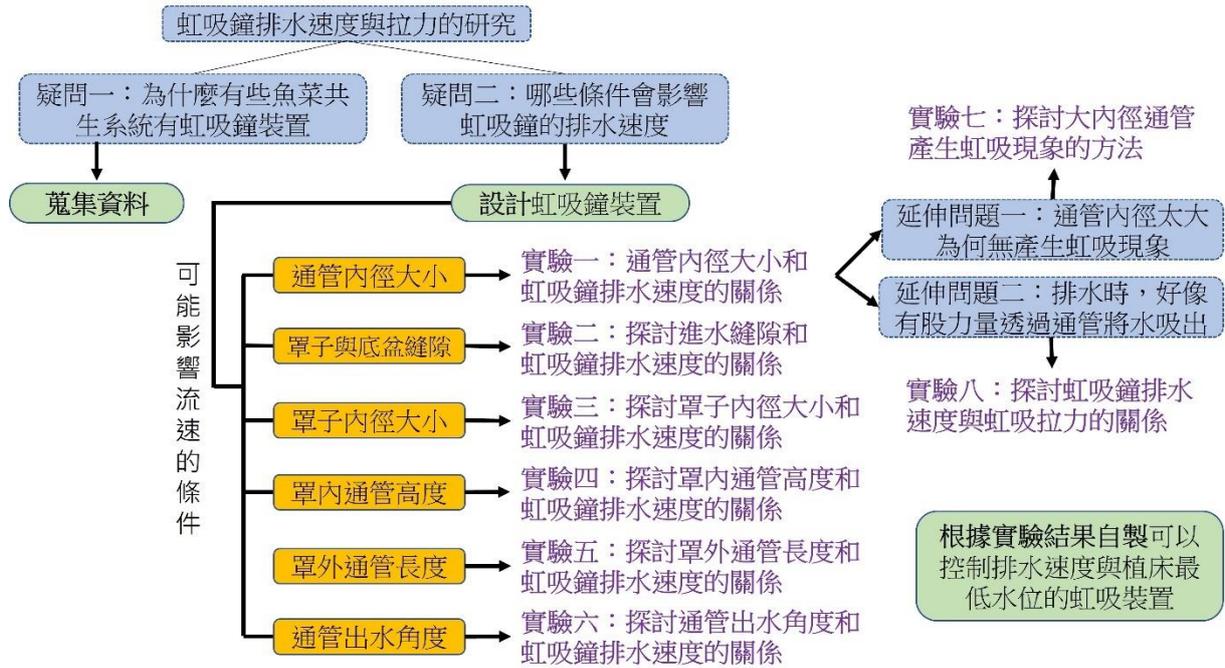
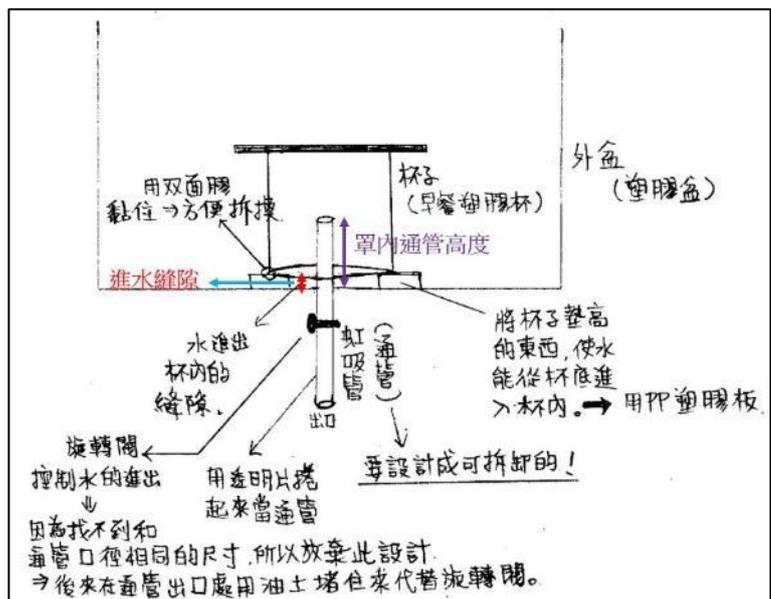


圖 3：實驗構想與流程圖

二、虹吸鐘的設計

我們第一次接觸到虹吸現象是利用兩杯不同水位高度的杯子以及吸管組裝產生的。但是每次吸管裡面都需要先裝滿水，虹吸鐘只要水位上升到一定高度後，就會有水流出來了。以下是我們根據魚菜共生系統的虹吸鐘裝置設計出的實驗版(如圖 4)

圖 4：虹吸鐘裝置



三、Avidemux 軟體介紹

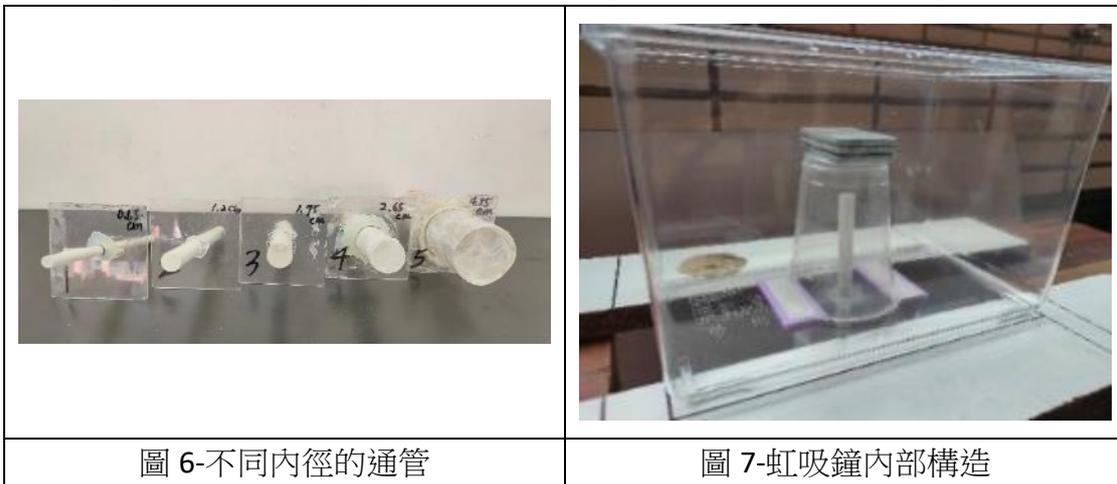
這是款分析影片畫格時間軟體，我們利用平板將虹吸鐘排水過程錄影後，透過這套軟體找出虹吸鐘排水開始與排水結束的時間，計算出排水花費時間。(排水花費時間=通管排水結束時間-通管開始排水時間)



四、實驗方法與流程

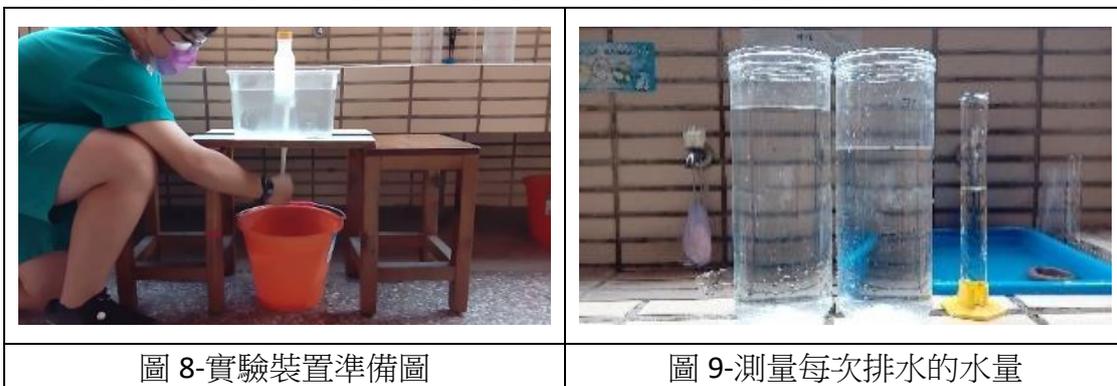
■ 實驗一：探討通管內徑大小與虹吸鐘排水速度的關係

(一)用護貝膠膜捲出長度相同，但內徑不同的 1~5 號通管(分別為 0.65、1.2、1.75、2.65 和 4.85cm)，並固定在正方形壓克力板的中間(其中一端長度皆為 8cm)，如圖 6、7。



(二)將 1 號通管壓克力板黏在盒上，以型號 Y-360 塑膠杯作為罩子，罩子與盆底距離(進水縫隙)0.3cm，如圖 7。出口處用油土堵住，並注入水量 5L，如圖 8。

(三)將油土拿開，使虹吸鐘開始排水，利用平板攝影排水過程，再用 avidemux 影片軟體分析排水花費時間和測量水桶內的排水量，如圖 9，重複實驗 5 次。



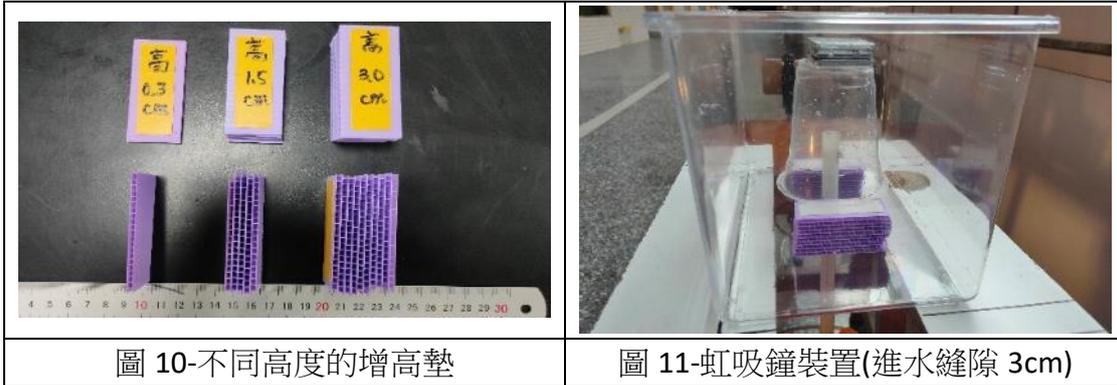
(四)將 1 號通管分別改成 2~5 號通管，重複步驟(二)、(三)。

■ 實驗二：探討罩子與底盆間隙(進水縫隙)和虹吸鐘排水速度的關係

(一)利用 pp 塑膠板製作 0.3、1.5 和 3.0cm 的增高墊，如圖 10。

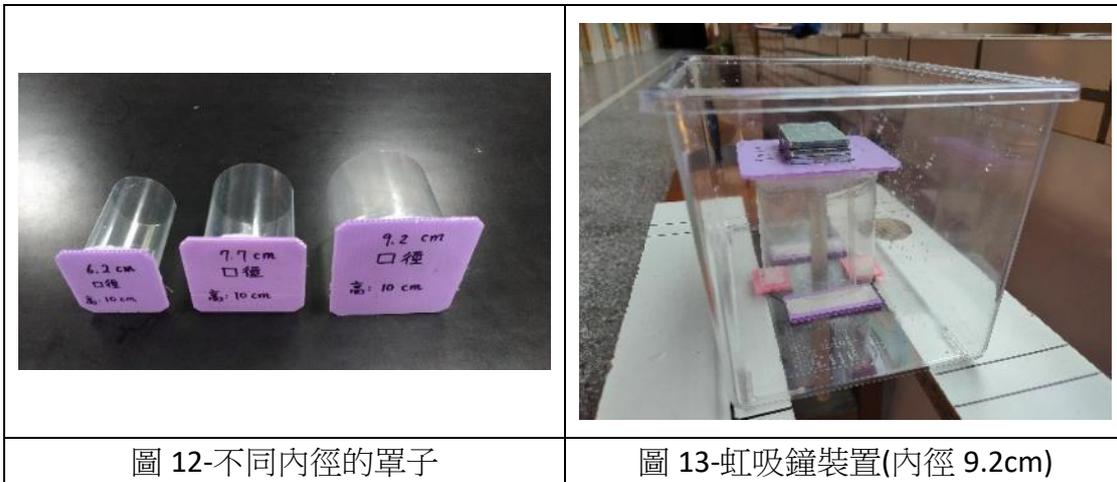
(二)選用實驗一 2 號管實驗裝置，進水縫隙分別改成 0.3、1.5 和 3.0cm，以型號 Y-360 塑膠杯作為罩子，出口處用油土堵住，並注入水量 5L，如圖 11。

(三)將油土拿開，使虹吸鐘開始排水，利用平板攝影排水過程，再用 avidemux 影片軟體分析排水花費時間和測量水桶內的排水量，重複實驗 5 次。



■ 實驗三：探討罩子內徑大小和虹吸鐘排水速度的關係

(一)用護貝膠膜捲出高 10cm，內徑不同的透明圓筒，並黏在 PP 塑膠板上，製成不同內徑的 1~3 號罩子(內徑分別為 6.2、7.7 和 9.2cm)，如圖 12。

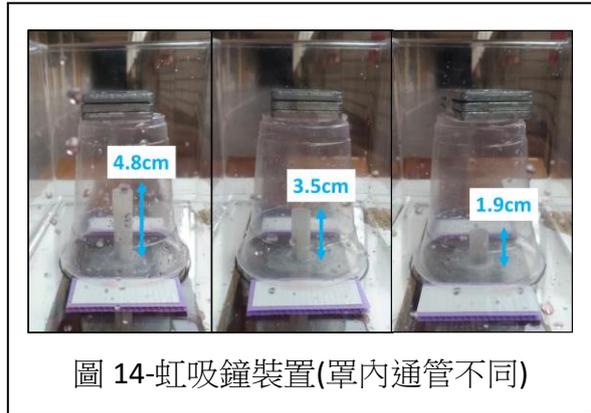


(二)選用實驗一 2 號管實驗裝置，罩子分別改成 1~3 號罩，進水縫隙 0.3cm，出口處用油土堵住，並注入水量 5L，如圖 13。

(三)將油土拿開，使虹吸鐘開始排水，利用平板攝影排水過程，再用 avidemux 影片軟體分析排水花費時間和測量水桶內的排水量，重複實驗 5 次。

■ 實驗四：探討罩內通管高度和虹吸鐘排水速度的關係

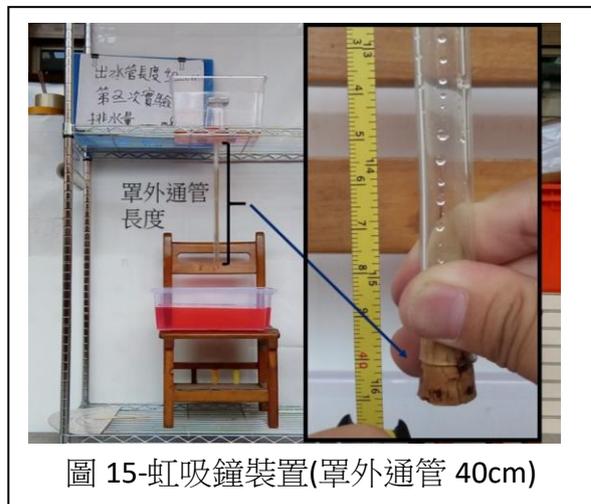
(一)選實驗一 2 號管實驗裝置，罩內通管長度依序剪成 4.8、3.5 和 1.9cm，以型號 Y-360 塑膠杯作為罩子，進水縫隙 0.3cm，出口處用油土堵住，並注入水量 5L，如圖 14。



(二)將油土拿開，使虹吸鐘開始排水，利用平板攝影排水過程，再用 avidemux 影片軟體分析排水花費時間和測量水桶內的排水量，重複實驗 5 次。

■ 實驗五：探討罩外通管(出水管)長度和虹吸鐘排水速度的關係

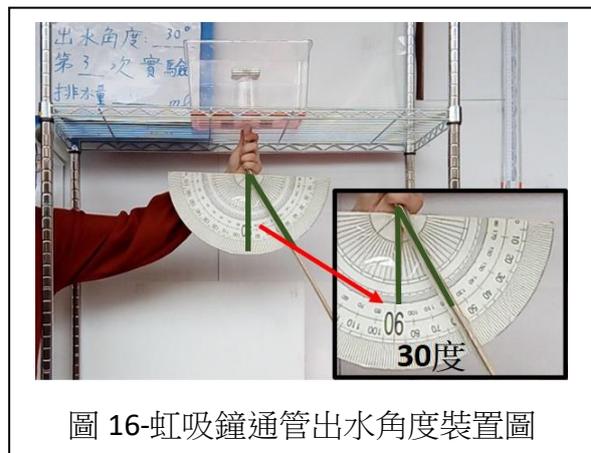
(一)製作新虹吸鐘裝置(通管內徑 1.0cm)，通管外接水管，罩外通管(出水管)總長度分別為 61.5、40 和 20cm，以型號 Y-360 塑膠杯作為罩子，通管出口處用塞子堵住，並注入水量 5L，如圖 15。



(二)將塞子拿開，使虹吸鐘開始排水，利用平板攝影排水過程，再用 avidemux 影片軟體分析排水花費時間和測量水桶內的排水量，重複實驗 3 次。

■ 實驗六：探討通管出水角度和虹吸鐘排水速度的關係

(一)製作新鐘虹吸裝置(通管內徑 1.0cm)，通管外接水管，總長度為 61.5cm。出水水管角度控制在 0 度(未傾斜)、30 與 60 度，以型號 Y-360 塑膠杯作為罩子，出口處用塞子堵住，並注入水量 5L，如圖 16。

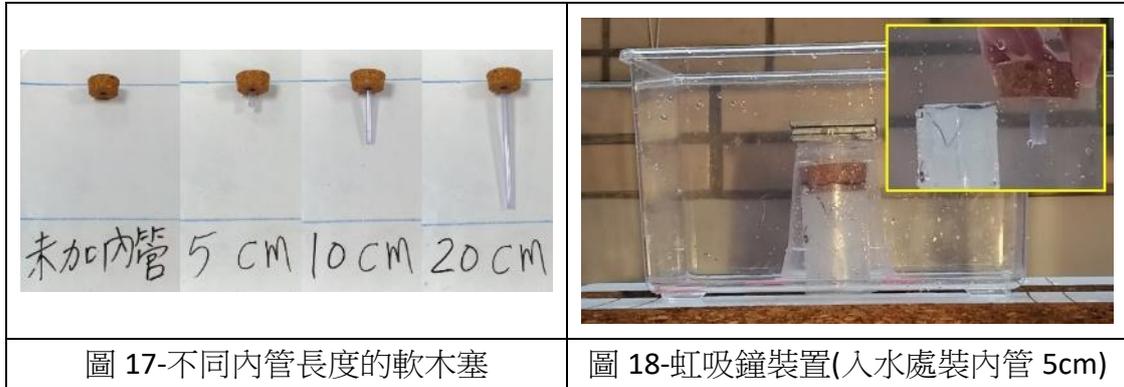


(二)將塞子拿開，使虹吸鐘開始排水，利用平板攝影排水過程，再用 avidemux 影片軟體分析排水花費時間和測量水桶內的排水量，重複實驗 3 次。

■ 實驗七：探討大內徑通管產生虹吸現象的方法

(一)在實驗一 5 號管的入水處與出水處分別裝上軟木塞，軟木塞中卡入不同長度的內管 (0、5、10、20cm)，如圖 17、18，其餘的罩子大小、進水縫隙和注入水量等條件皆相同。

(二)觀察這幾種改良方法的虹吸鐘在排水過程中是否有虹吸現象以及記錄最後水位高度。



■ 實驗八：探討虹吸鐘排水速度與虹吸拉力的關係

(一)分別取實驗一各通管虹吸鐘，盆內裝滿水量 5L，通管內要先充滿水，出口處用軟木塞堵住，盆口用膠膜完全密封，膠膜上先黏海棉並戳洞後，再接上裝有紅墨水的 U 型管(U 型管兩邊水位要一樣)，如圖 19。

(二)將軟木塞拿開，攝影並觀察虹吸鐘排水過程時，U 型管左右兩邊的水位移動距離。

(三)利用 avidemux 影片軟體分析 U 型右管內的水位在不同時間下的移動距離，並找出最大值。



肆、研究結果

一、實驗一：探討通管內徑大小與虹吸鐘排水速度的關係

在罩子大小、罩子與底盆縫隙與每次加入水量相同的情況下，測量通管內徑不同時，虹吸鐘的排水量，並利用軟體分析影片，計算排水時間與排水速度，結果如圖 20。

實驗一：1號管(內徑0.65cm)							實驗一：2號管(內徑1.2cm)						
次數	1	2	3	4	5	平均	次數	1	2	3	4	5	平均
排水花費總時間(s)	119.42	119.39	118.95	118.99	119.75	119.30	排水花費總時間(s)	37.87	37.51	37.43	39.03	38.03	37.97
排出總水量(mL)	4575.0	4610.0	4570.0	4600.0	4580.0	4587.0	排出總水量(mL)	4580.0	4610.0	4659.0	4663.0	4640.0	4630.4
排水速度(mL/s)	38.31	38.61	38.42	38.66	38.25	38.45	排水速度(mL/s)	120.95	122.89	124.49	119.48	122.02	121.97
實驗一：3號管(內徑1.75cm)							實驗一：4號管(內徑2.65cm)						
次數	1	2	3	4	5	平均	次數	1	2	3	4	5	平均
排水花費總時間(s)	18.82	19.26	19.16	20.50	19.90	19.53	排水花費總時間(s)	11.68	12.11	12.04	12.80	12.13	12.15
排出總水量(mL)	4550.0	4590.0	4647.0	4642.0	4613.0	4608.4	排出總水量(mL)	1680.0	1736.0	1710.0	1807.0	1734.0	1733.4
排水速度(mL/s)	241.80	238.37	242.50	226.48	231.86	236.20	排水速度(mL/s)	143.86	143.33	142.05	141.20	142.94	142.68
實驗一：5號管(內徑4.85cm)							實驗一：通管內徑大小和排水速度的關係						
次數	1	2	3	4	5	平均	通管內徑(cm)	0.65	1.2	1.75	2.65	4.85	
排水花費總時間(s)	9.56	9.50	9.81	8.01	8.77	9.13	排水花費平均時間(s)	119.30	37.97	19.53	12.15	9.13	
排出總水量(mL)	1921.0	1900.0	1877.0	1830.0	1936.0	1892.8	平均排出水量(mL)	4587.0	4630.4	4608.4	1733.4	1892.8	
排水速度(mL/s)	200.88	200.04	191.34	228.52	220.63	208.28	平均排水速度(mL/s)	38.45	121.97	236.20	142.68	208.28	

圖 20：通管內徑不同時，虹吸鐘的排水時間、排水量與排水速度紀錄

從實驗過程與結果發現以下幾點：

- (一)1~3 號管虹吸鐘排水時有虹吸現象；4、5 號管虹吸鐘排水時沒有虹吸現象。
- (二)排水有虹吸現象(1~3 號管)時，虹吸鐘使用的**通管內徑越大**，排水量差異不大，排水時間越短，**排水速度越快**。

二、實驗二：探討罩子與底盆間隙(進水縫隙)和虹吸鐘排水速度的關係

在通管內徑、罩子大小與每次加入水量相同的情況下，測量進水縫隙不同時，虹吸鐘的排水量，並利用軟體分析影片，計算排水時間與排水速度，結果如圖 21。

實驗二：罩子與底盤縫隙0.3cm(一層PP板)							實驗二：罩子與底盤縫隙1.5cm(五層PP板)						
次數	1	2	3	4	5	平均	次數	1	2	3	4	5	平均
排水花費總時間(s)	37.87	37.51	37.43	39.03	38.03	37.97	排水花費總時間(s)	34.31	34.39	34.30	34.70	35.24	34.59
排出總水量(mL)	4580.0	4610.0	4659.0	4663.0	4640.0	4630.4	排出總水量(mL)	4200.0	4153.0	4182.0	4185.0	4200.0	4184.0
排水速度(mL/s)	120.95	122.89	124.49	119.48	122.02	121.97	排水速度(mL/s)	122.43	120.76	121.92	120.60	119.20	120.98
實驗二：罩子與底盤縫隙3.0cm(十層PP板)							實驗二：罩子與底盤縫隙寬和排水速度的關係						
次數	1	2	3	4	5	平均	縫隙長度(cm)	0.3	1.5	3			
排水花費總時間(s)	30.09	30.76	30.73	29.87	30.56	30.40	排水花費平均時間(s)	37.97	34.59	30.40			
排出總水量(mL)	3619.0	3668.0	3697.0	3591.0	3645.0	3644.0	平均排出水量(mL)	4630.4	4184.0	3644.0			
排水速度(mL/s)	120.26	119.25	120.32	120.23	119.27	119.86	平均排水速度(mL/s)	121.97	120.98	119.86			

圖 21：進水縫隙不同時，虹吸鐘的排水時間、排水量與排水速度紀錄

從實驗過程與結果發現，進水縫隙越大的虹吸鐘，排水時間會越短；排水量也會越少，但是排水速度差異不大。

三、實驗三：探討罩子內徑大小和虹吸鐘排水速度的關係

在通管內徑、罩子與底盆縫隙與每次加入水量相同的情況下，測量罩子內徑不同時，虹吸鐘的排水量，並利用軟體分析影片，計算排水時間與排水速度，結果如下頁圖 22。

實驗三：1號罩(內徑6.2cm)							實驗三：2號罩(內徑7.7cm)						
次數	1	2	3	4	5	平均	次數	1	2	3	4	5	平均
排水花費總時間(s)	42.50	42.89	42.63	42.23	42.93	42.63	排水花費總時間(s)	41.48	41.10	41.59	41.68	41.44	41.46
排出總水量(mL)	4691.0	4648.0	4684.0	4630.0	4684.0	4667.4	排出總水量(mL)	4556.0	4529.0	4569.0	4588.0	4527.0	4553.8
排水速度(mL/s)	110.37	108.37	109.89	109.65	109.12	109.48	排水速度(mL/s)	109.85	110.20	109.85	110.09	109.24	109.85

實驗三：3號罩(內徑9.2cm)							實驗三：罩子內徑大小和排水速度的關係				
次數	1	2	3	4	5	平均	罩子內徑(cm)	6.2	7.7	9.2	
排水花費總時間(s)	38.84	39.99	39.31	38.24	40.04	39.28	排水花費平均時間(s)		42.63	41.46	39.28
排出總水量(mL)	4337.0	4385.0	4287.0	4271.0	4375.0	4331.0	平均排出水量(mL)		4667.4	4553.8	4331
排水速度(mL/s)	111.67	109.65	109.07	111.69	109.27	110.27	平均排水速度(mL/s)		109.48	109.85	110.27

圖 22：罩子內徑不同時，虹吸鐘的排水時間、排水量與排水速度紀錄

從實驗過程與結果發現，罩子內徑越大的虹吸鐘，排水時間會縮短，排水量也會減少，但是排水速度差異不大。

四、實驗四：探討罩內通管高度和虹吸鐘排水速度的關係

在進水縫隙、罩子大小與每次加入水量相同的情況下，測量罩內通管高度不同時，虹吸鐘的排水量，並利用軟體分析影片，計算排水時間與排水速度，結果如圖 23。

實驗四：通管高度1.9cm (接近2.0cm)							實驗四：通管高度3.5cm						
次數	1	2	3	4	5	平均	次數	1	2	3	4	5	平均
排水花費總時間(s)	45.21	44.75	43.81	45.78	46.15	45.14	排水花費總時間(s)	43.11	43.31	43.14	42.64	43.54	43.15
排出總水量(mL)	4783.0	4787.0	4760.0	4795.0	4790.0	4783.0	排出總水量(mL)	4740.0	4726.0	4726.0	4710.0	4757.0	4731.8
排水速度(mL/s)	105.79	106.98	108.65	104.74	103.80	105.99	排水速度(mL/s)	109.95	109.12	109.54	110.45	109.25	109.66

實驗四：通管高度4.8cm (接近5.0cm)							實驗四：罩內通管高度和排水速度的關係				
次數	1	2	3	4	5	平均	罩內通管高度(cm)	1.9	3.5	4.8	
排水花費總時間(s)	41.98	42.01	42.38	42.58	42.44	42.28	排水花費平均時間(s)		45.14	43.15	42.28
排出總水量(mL)	4680.0	4698.0	4695.0	4676.0	4662.0	4682.2	平均排出水量(mL)		4783.0	4731.8	4682.2
排水速度(mL/s)	111.49	111.83	110.79	109.82	109.84	110.76	平均排水速度(mL/s)		105.99	109.66	110.76

圖 23：罩內通管高度不同時，虹吸鐘的排水時間、排水量與排水速度紀錄

從實驗過程與結果發現，罩內通管高度越低的虹吸鐘，排水時間會縮短，排水量也會減少，但是排水速度差異不大。

五、實驗五：探討罩外通管(出水管)長度和虹吸鐘排水速度的關係

在進水縫隙、罩子大小與每次加入水量相同的情況下，測量罩外通管(出水管)在不同長度時，虹吸鐘的排水量，並利用軟體分析影片，計算排水時間與排水速度，結果如圖 24。

從實驗過程與結果發現，**出水管長度越長**的虹吸鐘，排水時間逐漸變短，排水量差異不大，而**排水速度逐漸變快**。

實驗五：罩外通管(出水管)長度(20cm)					實驗五：罩外通管(出水管)長度(40cm)				
次數	1	2	3	平均	次數	1	2	3	平均
排水花費總時間(s)	44.49	45.52	45.69	45.24	排水花費總時間(s)	36.86	37.49	36.99	37.11
排出總水量(mL)	4578.0	4580.0	4582.0	4580.0	排出總水量(mL)	4570.0	4578.0	4579.0	4575.7
排水速度(mL/s)	102.90	100.61	100.28	101.26	排水速度(mL/s)	123.98	122.11	123.78	123.29

實驗五：罩外通管(出水管)長度(61.5cm)					實驗五：罩外通管長度和排水速度的關係			
次數	1	2	3	平均	出水管長度(cm)	20	40	61.5
排水花費總時間(s)	32.83	32.91	32.54	32.76	排水花費平均時間(s)	45.24	37.11	32.76
排出總水量(mL)	4593.0	4584.0	4582.0	4586.3	平均排出水量(mL)	4580.0	4575.7	4586.3
排水速度(mL/s)	139.92	139.31	140.80	140.01	平均排水速度(mL/s)	101.26	123.29	140.01

圖 24：出水管長度不同時，虹吸鐘的排水時間、排水量與排水速度紀錄

六、實驗六：探討通管出水角度和虹吸鐘排水速度的關係

在進水縫隙、罩子大小與每次加入水量相同的情況下，測量罩外通管(出水管)在不同角度時，虹吸鐘的排水量，並利用軟體分析影片，計算排水時間與排水速度，結果如圖 25。

實驗六：出水角度(0度)					實驗六：出水角度(30度)				
次數	1	2	3	平均	次數	1	2	3	平均
排水花費總時間(s)	32.83	32.91	32.54	32.76	排水花費總時間(s)	35.83	35.88	35.81	35.84
排出總水量(mL)	4593.0	4584.0	4582.0	4586.3	排出總水量(mL)	4594.0	4590.0	4590.0	4591.3
排水速度(mL/s)	139.92	139.31	140.80	140.01	排水速度(mL/s)	128.23	127.94	128.18	128.11

實驗六：出水角度(60度)					實驗六：通管出水角度和排水速度的關係			
次數	1	2	3	平均	出水角度(度)	0	30	60
排水花費總時間(s)	40.53	40.43	40.26	40.40	排水花費平均時間(s)	32.76	35.84	40.40
排出總水量(mL)	4594.0	4571.0	4584.0	4583.0	平均排出水量(mL)	4586.3	4591.3	4583.0
排水速度(mL/s)	113.36	113.07	113.87	113.43	平均排水速度(mL/s)	140.01	128.11	113.43

圖 25：通管出水角度不同時，虹吸鐘的排水時間、排水量與排水速度紀錄

從實驗過程與結果發現，**通管出水角度越大**的虹吸鐘，排水時間逐漸變長，排水量差異不大，**排水速度逐漸變慢**。

七、實驗七：探討大內徑通管產生虹吸現象的方法

在實驗一的 5 號通管入水處與出水處分別塞入含有 0、5、10、20cm 內管的軟木塞，比較各方式的排水過程是否會產生虹吸現象，並比較最後盆內水位高度，如圖 26、27。

(一)通管入水處安裝各種長度的內管(黑色線條為軟木塞和通管內的內管長度)

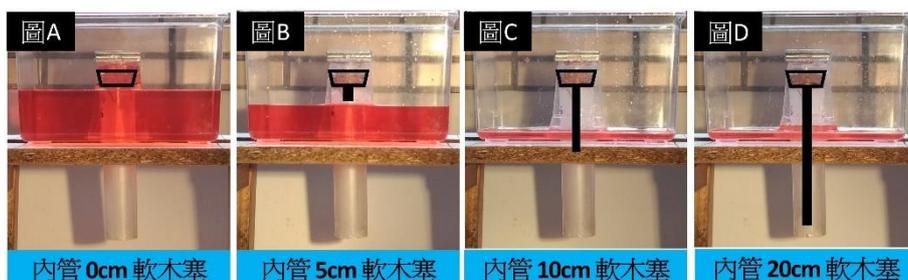


圖 26：大內徑通管入水處安裝不同長度內管的水位比較圖

(二)通管出水處安裝各種長度的內管(黑色線條為軟木塞和通管內的內管長度)

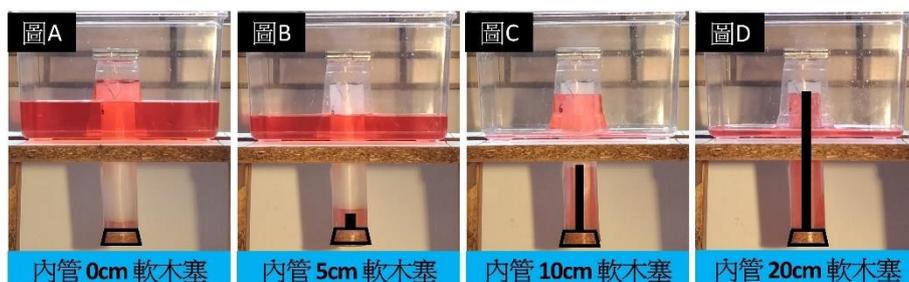


圖 27：大內徑通管出水處安裝不同長度內管的水位比較圖

從實驗過程與結果發現，在大內徑通管的出水處與入水處安裝內管都可以使虹吸鐘在排水時產生虹吸現象，但是要留意內管的長度，內管若太短，虹吸現象效果不明顯(內管長度 5cm 時)，而且盆內水位也無法降到最低處。

八、實驗八：探討虹吸鐘排水速度與虹吸拉力的關係

當我們用力吸飲料時，飲料好像受到一股吸力而透過吸管跑上來。對照虹吸鐘裝置，虹吸鐘產生虹吸現象將水排出時，這些排出的水好似受到一股力量被拉出，我們稱這股力量為「虹吸拉力」。我們推測虹吸鐘的排水速度越快時，虹吸拉力應該會越大。

■ 排水速度不同時的虹吸拉力

根據實驗內容，通管內徑大小(實驗一)、出水管長度(實驗五)和出水管角度(實驗六)會影響虹吸鐘的排水速度，我們利用圖 19 的虹吸拉力裝置圖進行實驗，拍攝在通管內徑大小、出水管長度和出水管角度不同的條件時，虹吸鐘在排水過程中，U 型右管內水位變化情形，希望藉由水位變化來探討虹吸鐘在排水過程中所受到的拉力是不是有所差別。各實驗不同時間內的水位變化紀錄如下圖 28~31。

(一)通管內徑不同時的虹吸鐘排水速度與虹吸拉力的關係

內徑大小 \ 經過時間(s)	0	0.5	1	1.5	1.8	2	2.5	3	3.2	3.4	3.5	4	4.1	4.5	5	5.5
1號管(內徑0.65)-U型右管水移距離(cm)	0	0.1	0.2	0.7	1.1	1.5	2.3	3.3	3.8	4.4	4.5	5.9	6.1	7	8.1	9.1
2號管(內徑1.20)-U型右管水移距離(cm)	0	0.5	2.9	6.2	8.5	9.7	11.7	12.8	13	13	13	12.7	12	5	0.7	3.2
3號管(內徑1.75)-U型右管水移距離(cm)	0	1.1	6.9	13.5	15.1	15.1	9.9	0.5	-0.1	0.8	1.5	4.4	4.5	4	3.4	
內徑大小 \ 經過時間(s)	5.9	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9~15	15.5	16	16.5	17	17.5	18	18.5	19
1號管(內徑0.65)-U型右管水移距離(cm)	9.8	10	10.7	11.2	11.7	12	12.1	12.2	12	5.3	1	3.1	4.5	4	3.7	
2號管(內徑1.20)-U型右管水移距離(cm)	4.5	4.4	3.8	3.6												
3號管(內徑1.75)-U型右管水移距離(cm)	3.4															

註：綠底代表U型右管內的水位保持一定，未發生變化。

圖 28：通管內徑不同時，虹吸鐘排水過程的 U 型右管水位變化紀錄(單位：cm)

從實驗過程與結果發現，通管內徑越大的虹吸鐘，排水時 U 型右管內的水位移動距離會越長(圖中紅色數字為水位移動最大值)。

(二)出水管長度不同時的虹吸鐘排水速度與虹吸拉力的關係

出水管長度經過時間(s)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9.1	10
出水長度20.0cm-U型右管水移距離(cm)	0	1	3.9	7.3	10.7	13.1	14.5	15	15	1.4	1	4.7
出水長度40.0cm-U型右管水移距離(cm)	0	0.8	4.2	9	13.7	18	21.4	23.7	24.8	25		25
出水長度61.5cm-U型右管水移距離(cm)	0	1	6.2	12.7	19	24.3	28.6	31.8	34	35		35.3
出水管長度經過時間(s)	10.8	11	11.3	12	12.1	12.7	13	13.6	13.9	14	14.5	15
出水長度20.0cm-U型右管水移距離(cm)	4.2											
出水長度40.0cm-U型右管水移距離(cm)		3.2	0	7	7.3		4.6		5.1			
出水長度61.5cm-U型右管水移距離(cm)		35.2		28.5		0	1.2	7		6.2	5.6	

綠底代表U型右管內的水位開始保持一定，未發生變化。

圖 29：出水管長度不同時，虹吸鐘排水過程的 U 型右管水位變化紀錄(單位：cm)

從實驗過程與結果發現，**出水管越長**的虹吸鐘，排水時 U 型右管內的水位移動距離會**越長**(圖中紅色數字為水位移動最大值)。

(三)出水管角度不同時的虹吸鐘排水速度與虹吸拉力的關係

出水角度經過時間(s)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
出水角度0度-U型右管水移距離(cm)	0	1	6.2	12.7	19	24.3	28.6	31.8	34	35	35.3
出水角度30度-U型右管水移距離(cm)	0	1	5.5	11	16.9	22	26.1	29.1	31	31.9	32.1
出水角度60度-U型右管水移距離(cm)	0	0.6	4	8.4	13	17.1	20	22.3	23.6	24.1	24.2
出水角度經過時間(s)	11	12	12.7	12.8	13	13.5	13.6	14	14.5	15	
出水角度0度-U型右管水移距離(cm)	35.2	28.5	0	0	1.2		7	6.2	5.6		
出水角度30度-U型右管水移距離(cm)	32.1	20	-0.2		3.2	7.7		5.9	5		
出水角度60度-U型右管水移距離(cm)	23.1	0			5.5	5.1					

綠底代表U型右管內的水位開始保持一定，未發生變化。

圖 30：出水管出水角度不同時，虹吸鐘排水過程的 U 型右管水位變化紀錄(單位：cm)

從實驗過程與結果發現，**出水角度越小**的虹吸鐘，排水時 U 型右管內的水位移動距離會**越長**(圖中紅色數字為水位移動最大值)。

■ 排水速度相同時的虹吸拉力

我們同時也想知道在排水速度相同時，虹吸拉力是否也會有變化？因此以進水縫隙為例，探討當進水縫隙不同時，虹吸鐘在排水過程中的 U 型右管內水位變化情形，不同時間內的水位變化記錄如圖 31。

進水縫隙\經過時間(s)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5
進水縫隙0.3cm-U型右管水移距離(cm)	0	0.7	3	6.4	9.6	11.9	13	13.2	12.6	4.5
進水縫隙1.5cm-U型右管水移距離(cm)	0	0.7	3.2	6.4	9.4	11.6	12.9	13.2	12.7	5.7
進水縫隙3.0cm-U型右管水移距離(cm)	0	0.6	3	6.7	10.5	12.5	13.3	13.3	12	2.9
進水縫隙\經過時間(s)	4.8	4.9	5	5.5	5.8	6	6.5	6.6	6.8	7
進水縫隙0.3cm-U型右管水移距離(cm)		0.8	0.9	3.4		4.5	3.9		3.7	
進水縫隙1.5cm-U型右管水移距離(cm)			0.8	3.2		4.5	4		3.7	
進水縫隙3.0cm-U型右管水移距離(cm)	0.7		1.1	3.9	4.4	4.3			3.6	

綠底代表U型右管內的水位開始保持一定，未發生變化。

圖 31：進水縫隙不同時，虹吸鐘排水過程的 U 型右管水位變化紀錄(單位：cm)

從實驗過程與結果發現，進水縫隙不同的虹吸鐘，排水時 U 型右管內的水位移動距離並沒有明顯差別(圖中紅色數字為水位移動最大值)。

伍、討論

一、我們觀察虹吸鐘排水過程，試著解釋盆內水會透過虹吸鐘通管排出的原因。圖 32-D 是虹吸鐘排水結束時的瞬間情形，也是後續各實驗討論排水量差異的關鍵過程。

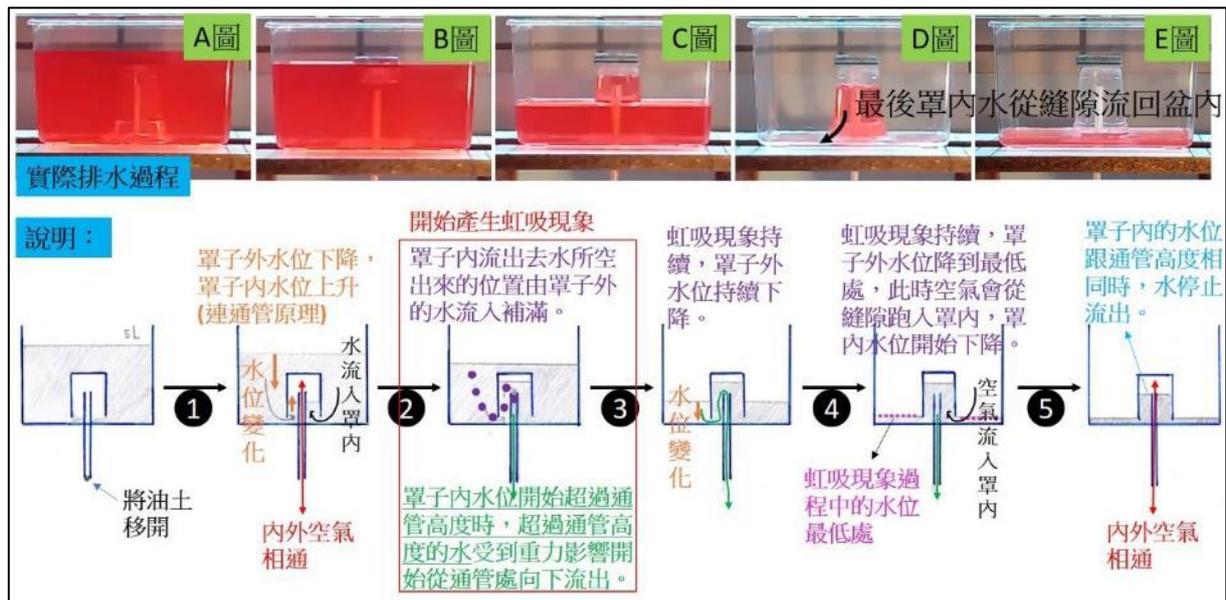


圖 32：虹吸鐘排水過程說明

二、實驗一中，通管內徑不同與虹吸鐘平均排水時間、排水量和排水速度的關係如下圖。

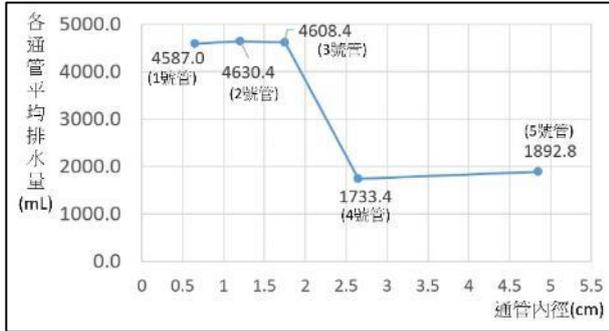


圖 33：通管內徑與平均排水量關係圖

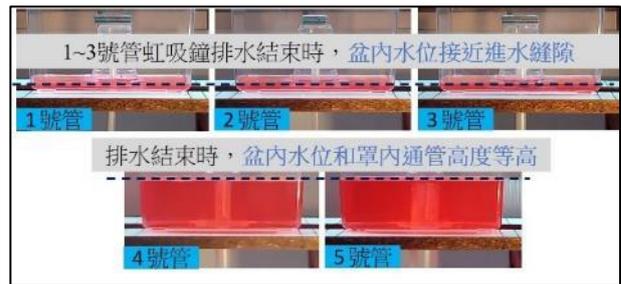


圖 34：盆內水位比較(通管內徑不同)

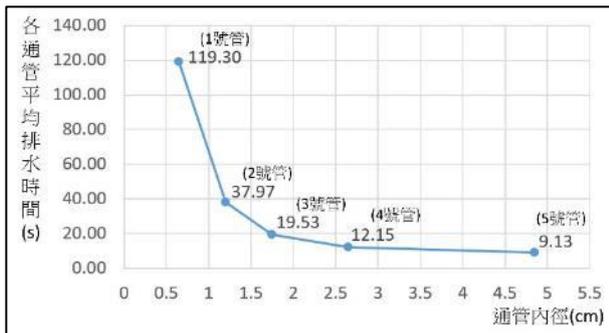


圖 35：通管內徑與平均排水時間關係圖

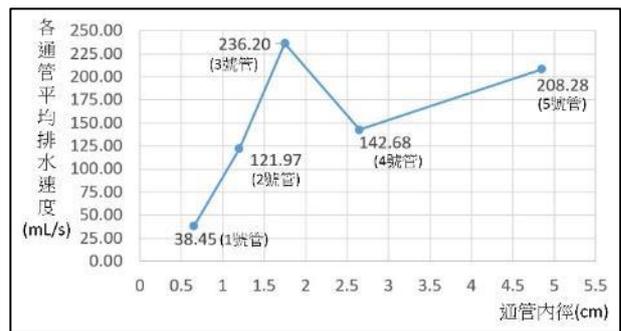


圖 36：通管內徑與平均排水速度關係圖

(一)根據圖 33、34，1~3 號管虹吸鐘排水量差不多，比 4、5 號管排水量多。排水結束時，1~3 號管盆內水位較低，接近進水縫隙處，而 4、5 號管的水位和通管入水處等高。

(二)4、5 號管虹吸鐘排水結束時，因為盆內水位較高，所以排水量少，主要是因為少了圖 32-③~⑤的虹吸過程。為什麼這兩種通管在排水時沒有虹吸現象呢？

→比較 2、5 號管虹吸鐘的通管入水處情形(圖 37)，5 號管入水處在排水時會出現漩渦，而 2 號管沒有，從這個現象我們認為：

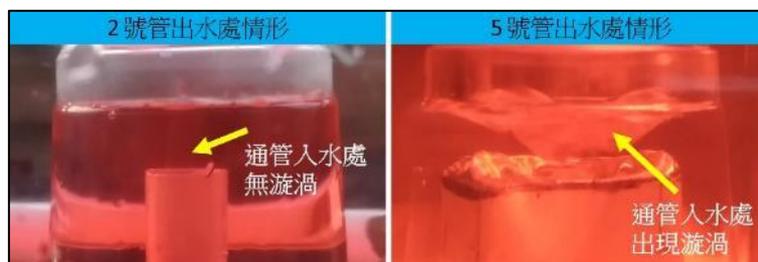


圖 37：2、5 號管虹吸鐘排水時的通管頂端對照圖

1. 2 號通管內徑小，水流動時容易填滿通管，當通管內的水向下流出時，盆內的水會一直流進罩內，罩內的水會持續被補充，因此產生虹吸現象。(圖 32-②~⑤ 過程)

2. 5 號通管內徑大，水流動時不易填滿通管，所以排水時出現漩渦，使通管外的空氣和罩內空氣相通，罩內的大氣壓力與通管外相同，因此無虹吸現象，當水位下降到

和通管入水處等高時，水就無法繼續從通管排出。(圖 32-① 連通管現象)

(三)比較 1~3 號管的虹吸鐘排水時間與排水速度，從圖 35、36 得知：

- 1.通管內徑越大，排水時間逐漸減少。→內徑越大，同時間能流出水量較多。
- 2.通管內徑越大，排水速度逐漸增快。→1~3 號管排水量相似，排水時間逐漸減少。
(排水速度 = 排水量 ÷ 排水時間)

三、實驗二中，進水縫隙不同與虹吸鐘平均排水時間、排水量和排水速度的關係如下圖。

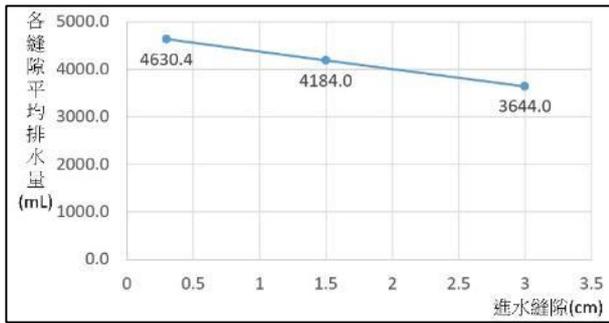


圖 38：進水縫隙與平均排水量關係圖

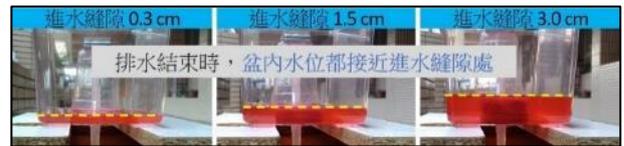


圖 39：盆內水位比較(進水縫隙不同)

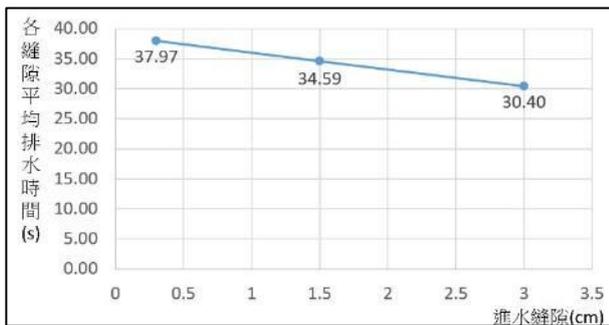


圖 40：進水縫隙與平均排水時間關係圖

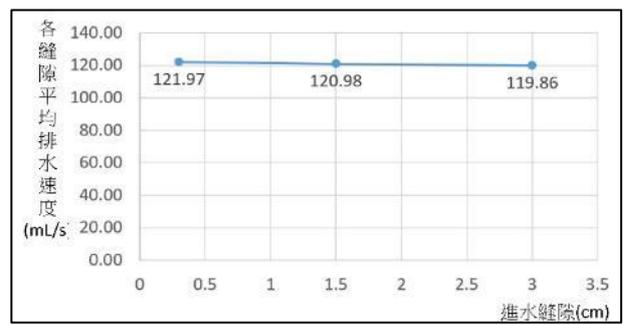


圖 41：進水縫隙與平均排水速度關係圖

(一)根據圖 38 和 39，進水縫隙越大時，排水量會越少。我們觀察到排水量和虹吸鐘排水結束時的盆內水位有關(如圖 42)。

→排水結束時，罩內水量都相同(黃色區塊)，但進水縫隙越大的虹吸鐘，盆內水位高度越高，剩餘的水量越多(C>B>A)，所以導致排水量越少。

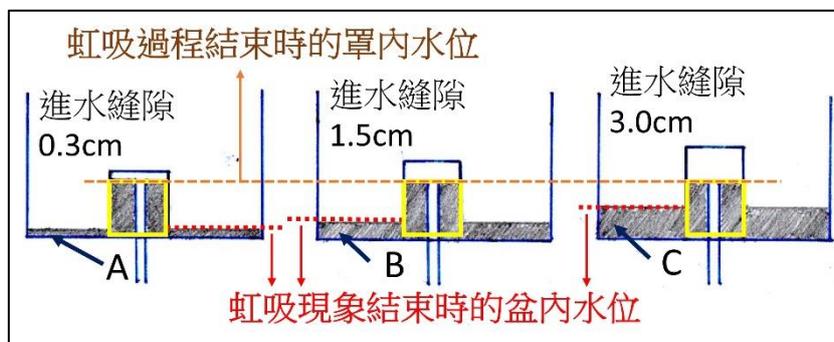


圖 42：進水縫隙不同，虹吸鐘排水結束時的水位高度示意圖

(二)根據圖 42，**進水縫隙會影響虹吸鐘的盆內最後水位高度**，所以若想控制魚菜共生植床內的最後水位高度和水注滿植床的時間，可以從這個部分進行調整。

(三)比較 3 種進水縫隙的虹吸鐘排水時間與排水速度，從圖 40、41 得知：

1.進水縫隙越大，排水時間越少。→因為排出的水量少。

2.進水縫隙不太會影響虹吸鐘的排水速度(約在 119~121mL/s 之間)。

→進水縫隙越大，虹吸鐘的排水量越少，排水時間也越少，所以排水速度會相似。

四、實驗三中，罩子內徑不同與虹吸鐘排水時間、排水量和排水速度的關係如下圖。

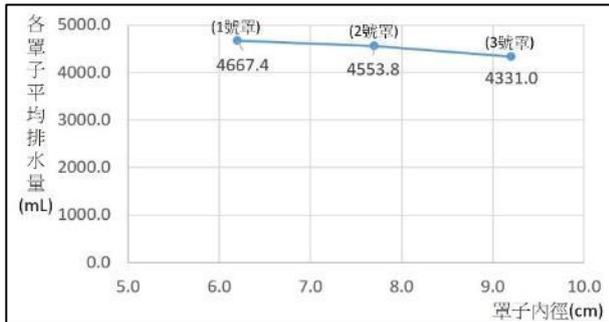


圖 43：罩子內徑與平均排水量關係圖

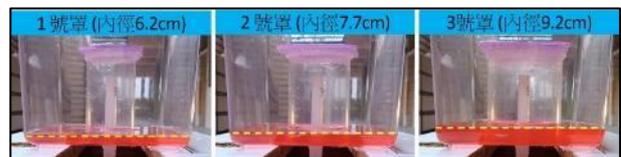


圖 44：盆內水位比較(罩子內徑不同)

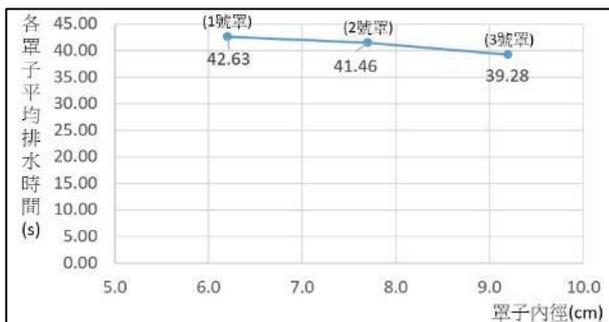


圖 45：罩子內徑與平均排水時間關係圖

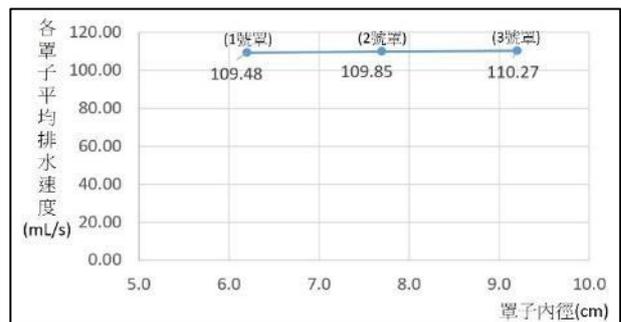


圖 46：罩子內徑與平均排水速度關係圖

(一)根據圖 43 和 44，罩子內徑越大時，排水量會越少。我們觀察到**排水量和虹吸鐘排水結束時的罩內水量**有關(如圖 47)。

→排水結束時，盆內水位都與進水縫隙等高，所以這個部分的水量都相同，但罩子內徑越大的虹吸鐘，罩內剩餘的水量越多(C>B>A)，所以導致排水量越少。

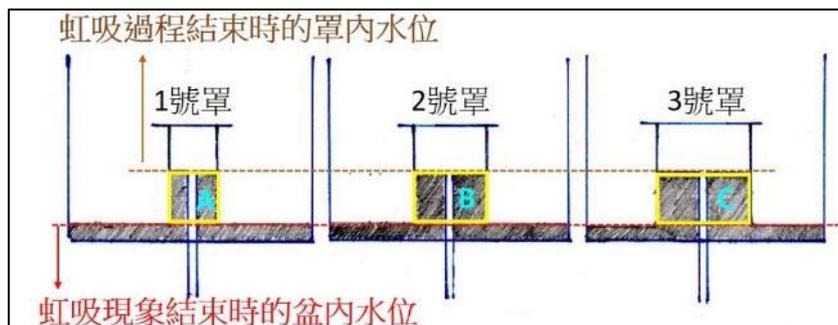


圖 47：罩子內徑不同，虹吸鐘排水結束時的水位高度示意圖

(二)比較 1~3 號罩的虹吸鐘排水時間與排水速度，從圖 45、46 得知：

1.罩子內徑越大，排水時間越少。→因為排出的水量少。

2.罩子內徑不太會影響虹吸鐘的排水速度(約在 109~110mL/s 之間)。

→罩子內徑越大，虹吸鐘的排水量越少，排水時間也越少，所以排水速度會相似。

五、實驗四中，罩內通管高度不同與虹吸鐘排水時間、排水量和排水速度的關係如下圖。

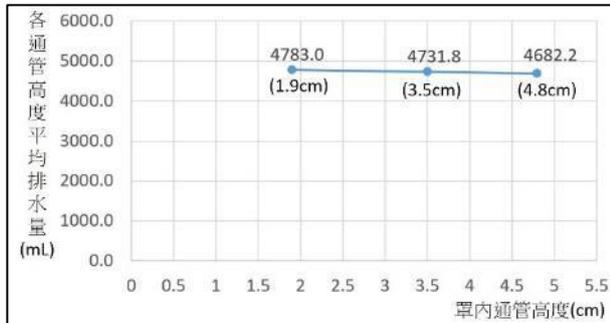


圖 48：罩內通管高度與平均排水量關係圖



圖 49：盆內水位比較(罩內通管高度不同)

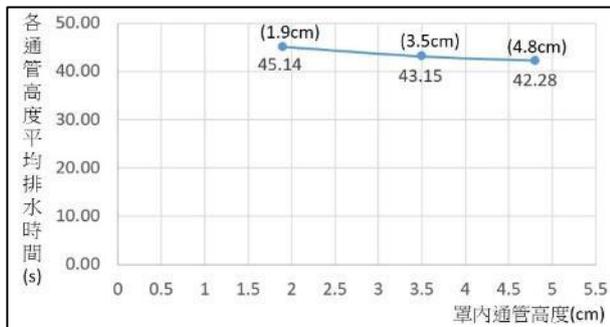


圖 50：罩內通管高度與平均排水時間關係圖

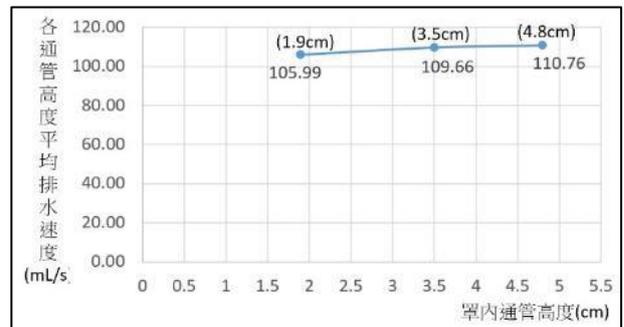


圖 51：罩內通管高度與平均排水速度關係圖

(一)根據圖 48 和 49，罩內通管高度越高時，排水量會變少(差距很小)。我們觀察到排水量和虹吸鐘排水結束時的罩內水量有關(如圖 52)。

→排水結束時，盆內水位都與進水縫隙等高，所以這個部分的水量都相同，但罩內通管越高的虹吸鐘，罩內剩餘的水量越多(A>B>C)，所以導致排水量越少，但從實驗結果和盆內水位高度來看，排水量差距很小。

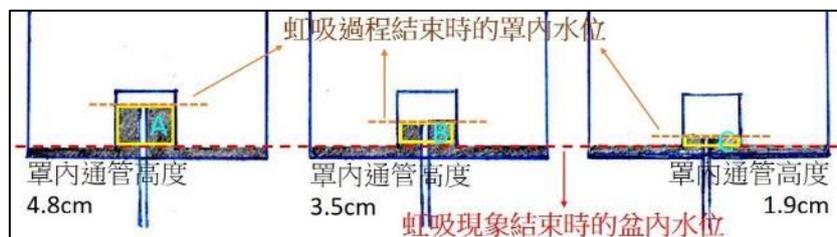


圖 52：罩內通管高度不同，虹吸鐘排水結束時的水位高度示意圖

(二)我們發現罩內的通管高度會影響到盆內開始產生虹吸現象的水位，當水位高過罩內通管高度時，虹吸鐘才會開始排水。

(三)比較 3 種罩內通管高度的虹吸鐘排水時間與排水速度，從圖 50、51 得知：

1.罩內通管越高，排水時間越少。→因為排出的水量少。

2.罩內通管高度不太會影響虹吸鐘的排水速度(約在 106~110mL/s 之間)。

→罩內通管高度越高，虹吸鐘排水量越少，排水時間也越少，所以排水速度會相似。

六、實驗五中，罩外通管(出水管)長度不同與虹吸鐘排水時間、排水量和排水速度關係如下圖。

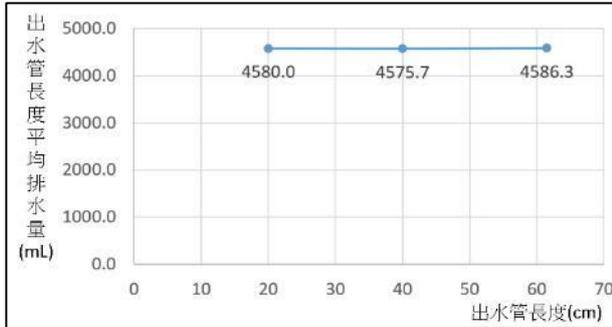


圖 53：通管(出水管)長度與平均排水量關係圖

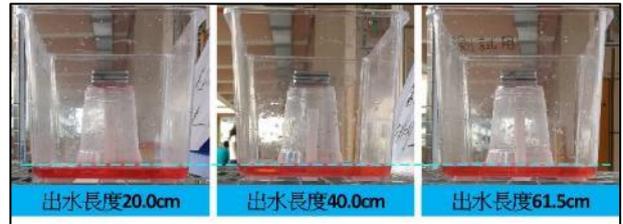


圖 54 盆內水位比較(罩外通管長度不同)

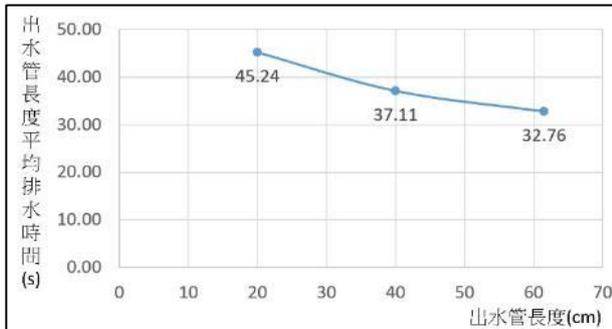


圖 55：通管(出水管)長度與平均排水時間關係圖

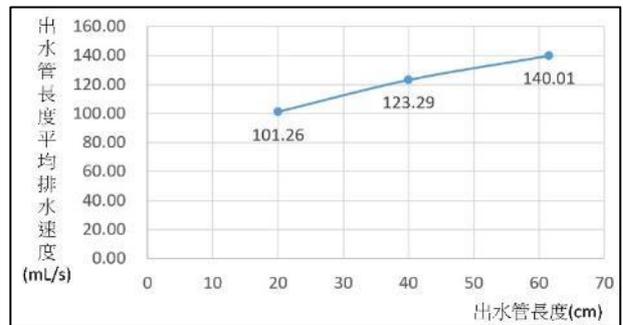


圖 56：通管(出水管)長度與平均排水速度關係圖

(一)從圖 53~56 得知，出水管長度不會影響虹吸鐘的排水量(盆內水位都接近進水縫隙處)，但會影響排水時間和排水速度。

→在相同水量下，通管出水管長度越長，排水所需時間越短，排水速度越快。

(二)為什麼出水管長度不同時，會影響排水時間和排水速度呢？

→我們將出水管比喻成吸管，吸管越長，喝飲料就要吸大力些，代表出水管越長，水若要自動流出，所需力量也要越大，所以出水管較長的虹吸鐘若能將水自動排出，代表此時的吸力可能很大，造成排水速度變快，排水時間較短，所以排水時間可能和虹吸鐘在排水時所產生的拉力有關，我們於實驗八進行探討，驗證我們的推測是否正確。

七、實驗六，通管出水角度與虹吸鐘排水時間、排水量和排水速度的關係如下圖。

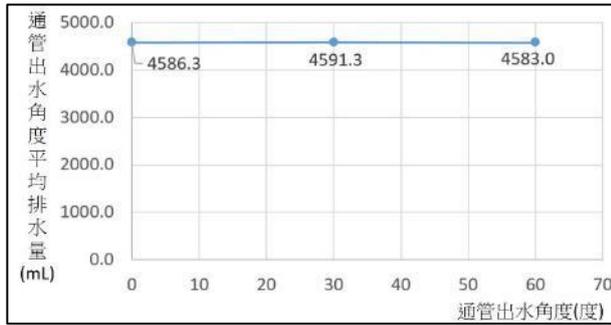


圖 57：通管出水角度與平均排水量關係圖

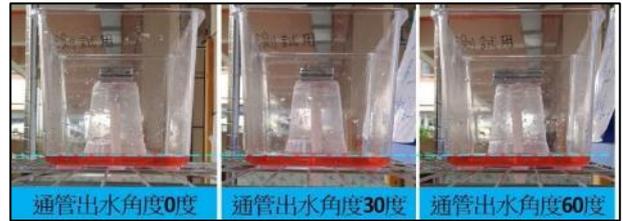


圖 58：盆內水位比較(通管出水角度不同)

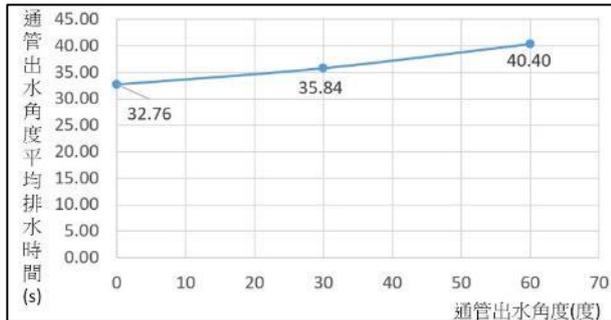


圖 59：通管出水角度與平均排水時間關係圖

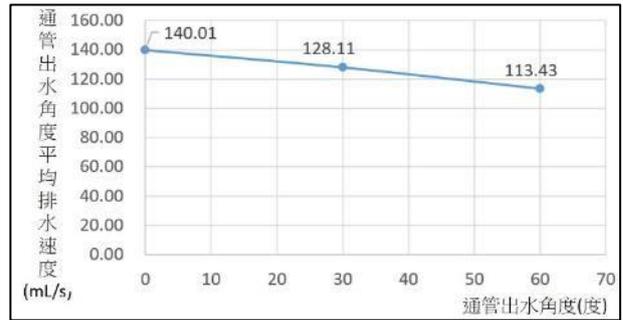


圖 60：通管出水角度與平均排水速度關係圖

(一)從圖 57~60 得知，出水管角度不會影響虹吸鐘的排水量(盆內水位都接近進水縫隙處)，但會影響排水時間和排水速度。

→在相同水量下，通管出水角度越大，排水所需時間越久，排水速度越慢。

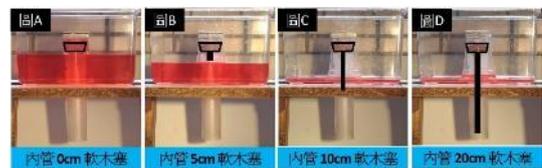
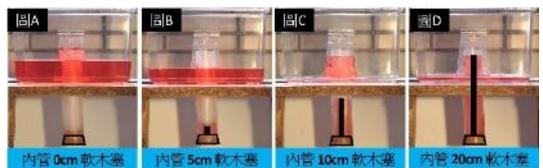
(二)為什麼在通管出水角度不同時，會影響排水時間和排水速度呢？我們推測可能和水從出水管中流出時，管壁阻擋水直接垂直向下流動有關，出水角度是 0 度時，水受到重力和後面的水擠壓的力量，可以直接垂直向下流動，所以排水速度快，排水時間短；但是出水角度越大時，水雖然受到重力向下流動，但出水管管壁卻阻礙水直接垂直向下流動，導致排水速度變慢，排水時間較長。

八、從實驗七中，我們觀察到想讓大內徑通管在排水時產生虹吸現象，可以在通管入水處和出水處安裝內管，以下是我們的發現。

(一)使用加裝內管方式讓大內徑通管的虹吸鐘排水產生虹吸現象時，內管的長度會影響虹吸現象的效果，以實驗結果來說，**內管長度約是通管長度的一半以上時，虹吸鐘排水時的虹吸效果才會較佳**，盆內水位才能在排水過程中降到最低(進水縫隙)處。

(二)我們從拆換的方便性、盆內水位高度以及排水時是否產生虹吸現象來探討哪一種改良方式較為可行，如表 1。

表 1：各種讓大內徑通管產生虹吸現象的改良方式差異與比較

	通管入水處加裝內管				通管出水處加裝內管			
照片								
拆換方便性	加裝內管時，需要先將罩子折起後，才能進行改裝，改良過程 較不方便 。				加裝內管時，不需要先將罩子折起後，就能進行改裝，改良過程 較方便 。			
改良方式	無內管	內管 5cm	內管 10cm	內管 20cm	無內管	內管 5cm	內管 10cm	內管 20cm
排水結束水位	與通管頂端等高	略低於通管頂端	靠近進水縫隙	靠近進水縫隙	與通管頂端等高	略低於通管頂端	靠近進水縫隙	靠近進水縫隙
虹吸現象	效果不佳	效果不佳	效果 好	效果 好	效果不佳	效果不佳	效果 好	效果 好
對魚菜共生系統的影響	水位下降有限，植床內空氣充斥空間較少，硝化菌較無法獲得充足空氣，可能生長不利。	水位下降多，植床內空氣充斥空間較多，硝化菌可以 獲得充足的空氣，有利於生長 。	水位下降多，植床內空氣充斥空間較多，硝化菌可以 獲得充足的空氣，有利於生長 。	水位下降多，植床內空氣充斥空間較多，硝化菌可以 獲得充足的空氣，有利於生長 。	水位下降有限，植床內空氣充斥空間較少，硝化菌較無法獲得充足空氣，可能生長不利。	水位下降多，植床內空氣充斥空間較多，硝化菌可以 獲得充足的空氣，有利於生長 。	水位下降多，植床內空氣充斥空間較多，硝化菌可以 獲得充足的空氣，有利於生長 。	水位下降多，植床內空氣充斥空間較多，硝化菌可以 獲得充足的空氣，有利於生長 。
可行性	不可行		可行(拆裝麻煩)		不可行		可行 (最適合)	

九、在實驗八中，我們將虹吸鐘開始排水後，每隔一段時間紀錄 U 型管裡面的水位移動距離，因為水位移動距離與虹吸拉力有關，虹吸拉力越大，水位移動的距離會越長，所以水位移動距離也可以做為虹吸鐘排水時的拉力變化參考。我們將變化圖各階段與虹吸鐘排水的關係簡單介紹如下頁圖 61：

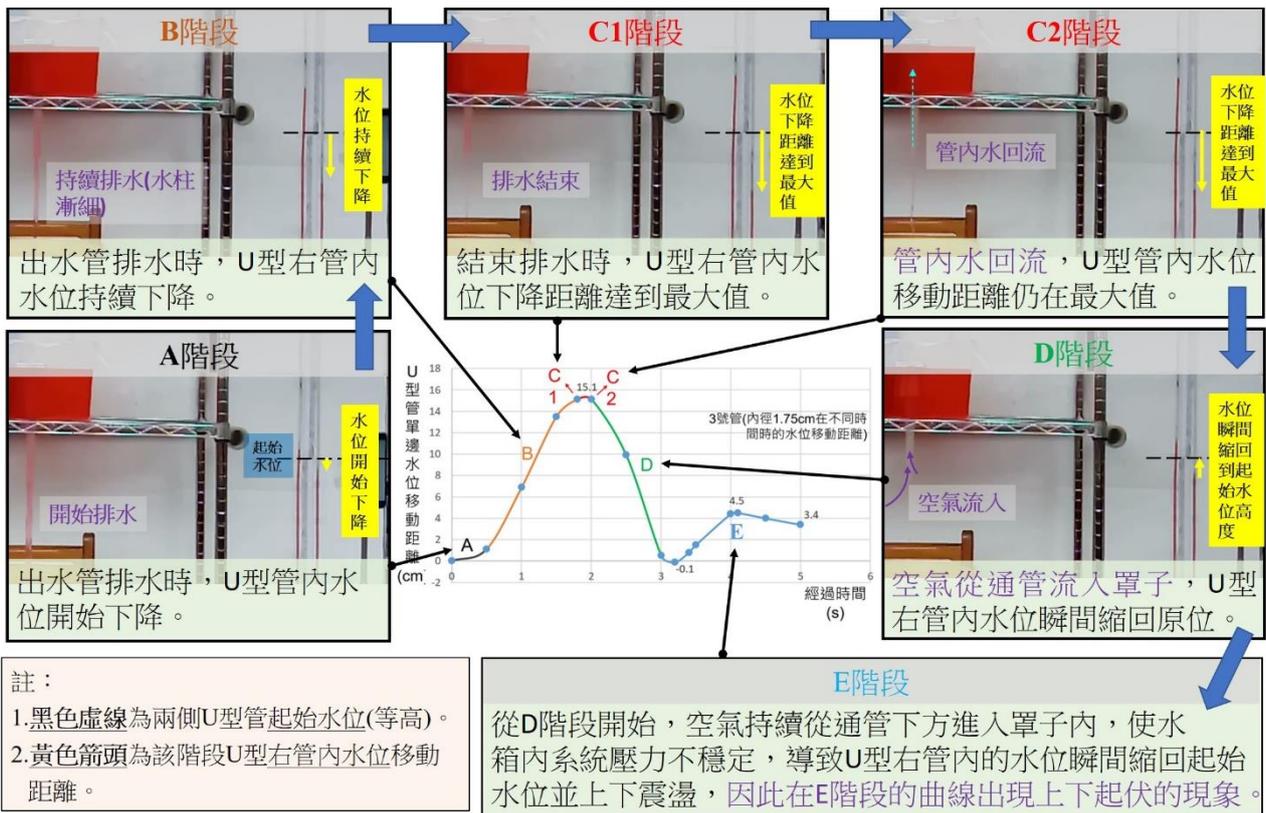


圖 61：排水過程中，U 型管內的水位變化與虹吸鐘排水的關係說明圖

十、當通管內徑不同、出水管長度與角度不同時，排水速度會不一樣，可能和虹吸鐘在排水時所產生的虹吸拉力有關。我們在實驗八探討虹吸鐘在各條件下進行排水時，不同時間的虹吸拉力變化情形(以 U 型右管內水位變化來推論)，如下圖。

(一)通管內徑不同的虹吸鐘在排水時，不同時間內 U 型管水位移動變化與照片

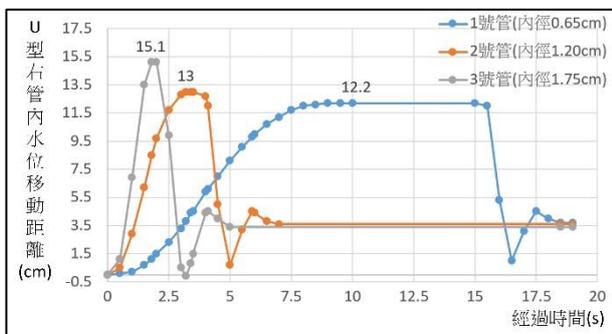


圖 62：虹吸鐘排水時，不同時間的 U 型右管水位移動變化圖

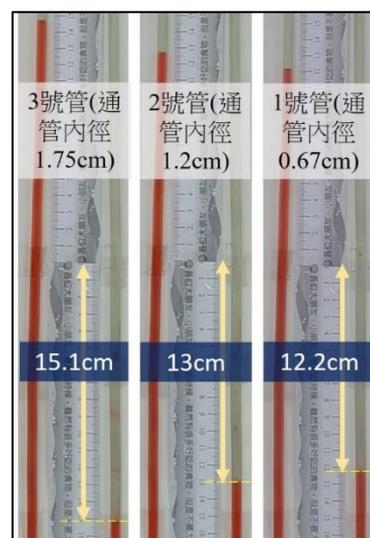


圖 63：不同內徑時，U 型右管水位最大移動距離比較圖

- 1.根據圖 62、63，通管內徑越大，U 型右管內的水位移動距離會越大，代表虹吸鐘排水時的虹吸拉力越強。以實驗來說，通管內徑 1.75cm 的虹吸鐘在排水時，產生的最大虹吸拉力可讓 U 型右管內水位移動 15.1cm。
- 2.不同通管內徑的虹吸鐘排水時，虹吸拉力會隨著排水過程逐漸上升，而通管內徑越大時，虹吸拉力到最大值花費的時間較短(約 2 秒)，而通管內徑越小，虹吸拉力到最大值花費的時間較長(約 10 秒)。
- 4.我們發現 1 號管的 U 型右管水位最大值持續了約 7 秒，但是在 2、3 號管不到 2 秒，水位就開始發生變化。我們推測可能是因為 1 號管的通管內徑較小，所以從 C1 到 C2 階段(參考圖 61)的過程中，空氣不容易從出水管進入到罩子內，所以空氣進入罩內所需時間變長，才使得 U 型右管內的水位最大值能維持較久的時間。
- 5.對照實驗一結果，**通管內徑越大時，虹吸鐘的虹吸拉力越大，排水速度越快。**

(二)出水管長度不同的虹吸鐘在排水時，不同時間內 U 型管水位移動變化與照片

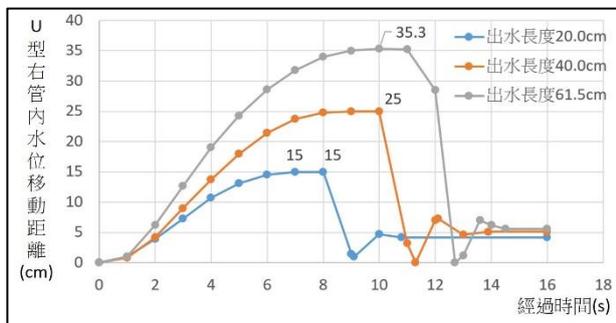


圖 64：虹吸鐘排水時，不同時間的 U 型右管水位移動變化圖

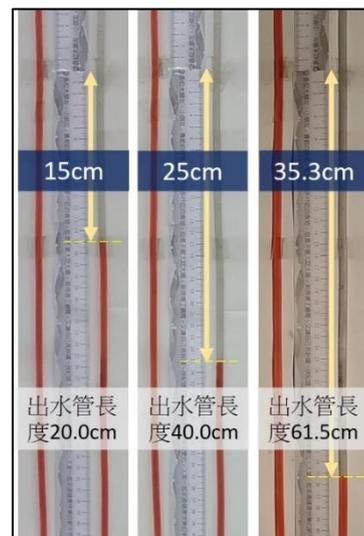


圖 65：不同出水管長度，U 型右管水位最大移動距離比較圖

- 1.根據圖 64、65，出水管長度越長，U 型右管內的水位移動距離會越大，代表虹吸鐘排水時的虹吸拉力越強。以實驗來說，長度 61.5cm 的虹吸鐘在排水時，最大虹吸拉力可讓 U 型右管內水位移動 35.3cm。
- 2.出水管長度不同的虹吸鐘排水時，虹吸拉力會隨著排水過程逐漸上升，而出水管長度越長時，虹吸拉力到最大值花費的時間較長(約 11 秒)，而出水管長度越短時，虹吸拉力到最大值花費的時間較短(約 8 秒)。
- 3.對照實驗五結果，**出水管長度越長時，虹吸鐘的虹吸拉力越大，排水速度越快。**

(三)出水角度不同的虹吸鐘在排水時，不同時間內 U 型管水位移動變化與照片

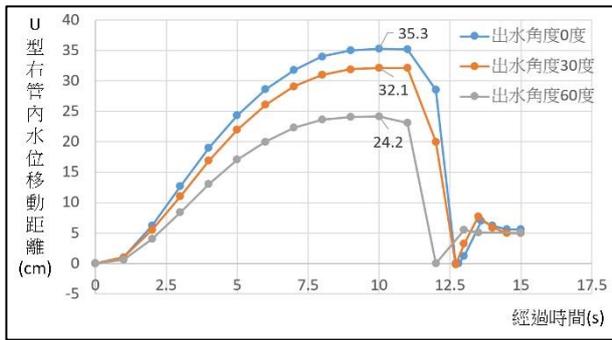


圖 66：虹吸鐘排水時，不同時間的 U 型右管水位移動變化圖

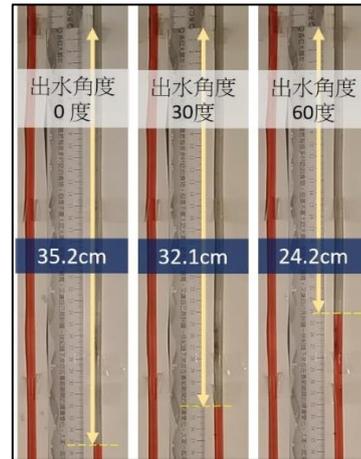


圖 67：不同出水角度，U 型右管水位最大移動距離比較圖

- 1.根據圖 66、67，出水角度越小，U 型右管內的水位移動距離會越大，代表虹吸鐘排水時的虹吸拉力越強。以實驗來說，出水角度 0 度的虹吸鐘在排水時，產生的最大虹吸拉力可讓 U 型右管內水位移動 35.2cm。
- 2.出水角度不同(長度相同)的虹吸鐘排水時，虹吸拉力會隨著排水過程逐漸上升，而不管是哪種出水角度，虹吸拉力到最大值花費的時間大約是 10 秒左右。
- 3.對照實驗六結果，出水角度越小時，虹吸鐘的虹吸拉力越大，排水速度越快。

(四)進水縫隙不同的虹吸鐘在排水時，不同時間內 U 型管水位移動變化與照片

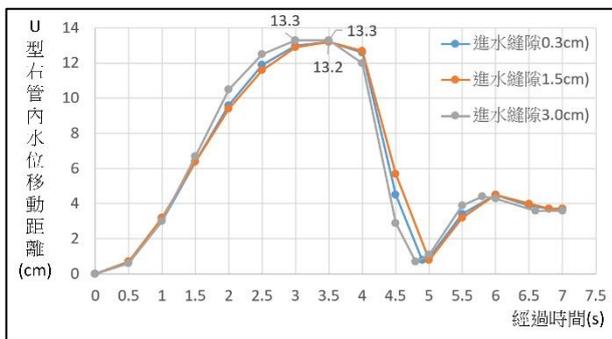


圖 68：虹吸鐘排水時，不同時間的 U 型右管水位移動變化圖

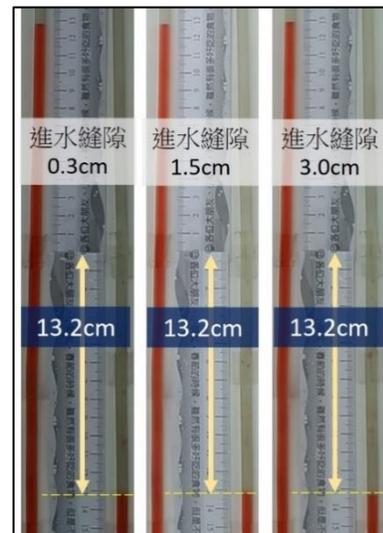


圖 69：不同進水縫隙，U 型右管水位最大移動距離比較圖

- 1.根據圖 68、69，進水縫隙不同時，U 型右管內的水位移動距離相似，代表虹吸鐘排水時的虹吸拉力相當。以實驗來說，產生的最大虹吸拉力可讓 U 型右管內水位移動 13.2cm。
- 2.進水縫隙不同的虹吸鐘排水時，虹吸拉力會隨著排水過程逐漸上升，而不管是哪種進水縫隙，虹吸拉力到最大值花費的時間大約是 3~3.5 秒左右。
- 3.對照實驗二結果，進水縫隙不同的虹吸鐘，虹吸拉力與排水速度都差異不大。

十、在組裝魚菜共生系統中的虹吸鐘與植床環境時，需要考慮以下幾點：

(一)通管內徑大小、出水管長度和出水角度：能調整出最佳的排水速度(配合注水速度)。

(二)若要讓植床內的硝化菌能夠獲得充足氧氣，避免非水耕植物的根泡爛，則需要考慮：

- 1.罩內通管高度：控制植床內虹吸鐘開始排水並產生虹吸現象時的水位高度。
- 2.進水縫隙：控制植床內虹吸現象結束後的最低水位高度。

(三)我們根據上面考慮的內容設計了可種植非水耕植物的植床裝置設計圖與裝置圖，如下頁圖 69、70，此裝置具有以下的優點與功能：

- 1.進水縫隙部分利用液體動力傳送來讓罩子可以上下移動，這個方式能控制進水縫隙，調整虹吸鐘將水排出時，植床內的最低水位位置，也能控制硝化菌培養的範圍。
- 2.植床底部鋪上發泡煉石來培養硝化菌，發泡煉石上面放置盆栽，可以在盆栽上種植非水耕植物。(未來搭配魚菜共生系統，將池內水抽上來時，透過硝化菌將魚的排泄物轉成植物可以吸收的養分)
- 3.罩內通管高度可根據植床內的盆栽位置調整高度，讓植床水位淹過發泡煉石後，剛好在盆栽底部就能產生虹吸現象將水排出，避免水淹過盆栽讓盆栽內的土壤過濕。
- 4.出水管能隨時加裝其他長度的管子和改變出水角度，藉此調整排水速度。

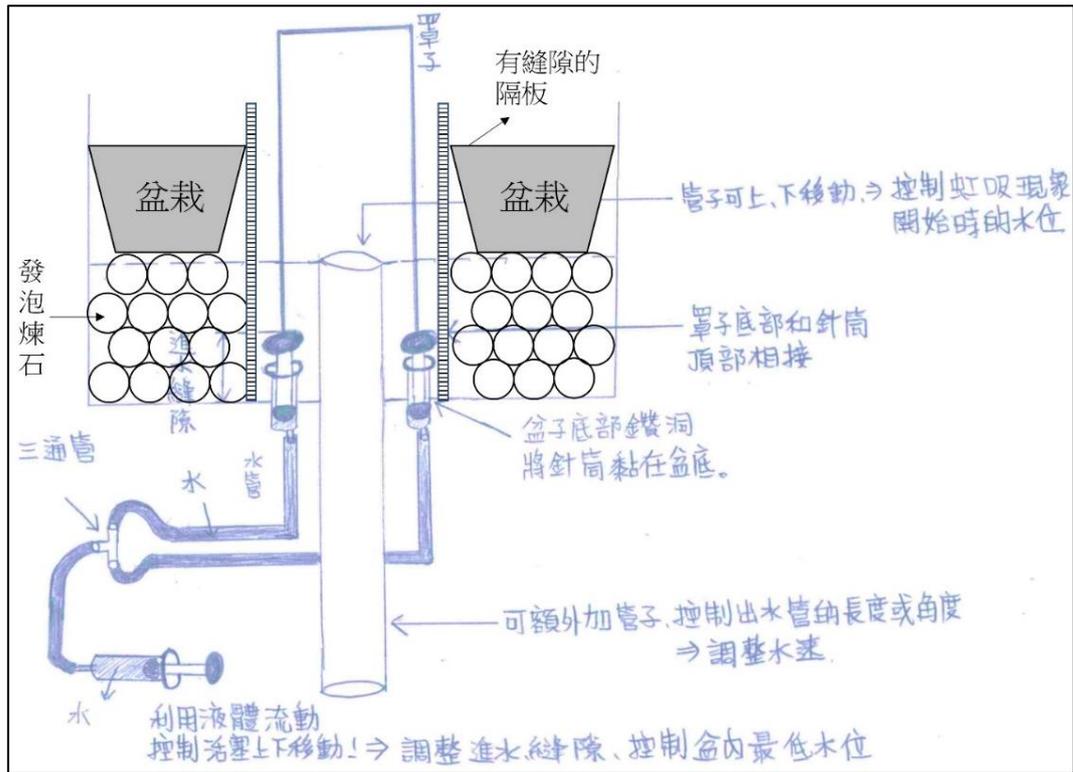


圖 70：魚菜共生系統中，可種植非水耕植物的植床裝置設計圖



圖 71：魚菜共生系統中，可種植非水耕植物的植床裝置圖

陸、結論

- 一、虹吸鐘裝置中，當通管內徑越大時，虹吸鐘排水時的水量不容易將通管填滿，外面的空氣會從通管進入到罩子內，使內外空氣相通，導致排水過程中不會產生虹吸現象，對魚菜共生來說，這樣會失去虹吸鐘裝置的功能與意義。此時可以利用實驗七的改良方式，在通管出水處加裝一根長度是原本通管長度一半的內管，就可以使虹吸鐘在排水時順利產生虹吸現象。
- 二、虹吸鐘排水速度快慢與通管內徑(實驗一)、出水管長度(實驗五)和出水角度(實驗六)有關：
 - (一)通管內徑越大的虹吸鐘不會影響排水量，但排水時間較短，排水速度較快。
 - (二)出水管長度越長的虹吸鐘不會影響排水量，但排水時間較短，排水速度較快。
 - (三)出水角度越小的虹吸鐘不會影響排水量，但排水時間較短，排水速度較快。
- 三、虹吸鐘排水速度和進水縫隙(實驗二)、罩子內徑大小(實驗三) 和罩內通管高度(實驗四)無關，但會影響到排水量(注水量相同)與排水時間，而且在魚菜共生系統中有其他的功用：
 - (一)進水縫隙越大，虹吸鐘排水量越少，排水時間較短，排水速度差異不明顯。
 - 魚菜共生系統中，**進水縫隙能控制植床的最低水位位置，控制發泡煉石中硝化菌生長範圍(數量)；也能調整水注滿植床所需時間(進水縫隙越低，水要注滿的空間越多)。**
 - (二)罩子內徑越大，虹吸鐘排水量越少，排水時間較短，排水速度差異不明顯。
 - 魚菜共生系統中，沒有它就無法使虹吸鐘在排水時產生虹吸現象。
 - (三)罩內通管高度越高，虹吸鐘排水量越少，排水時間較短，排水速度差異不明顯。
 - 魚菜共生系統中，**罩內通管高度能控制虹吸鐘開始排水時，盆內的最高水位位置，可以透過這個功能讓控制水位的最高處剛好在培養土的底層左右，避免培養土被水淹過後太過潮濕。**
- 四、根據實驗八，通管內徑大小、出水管長度和出水角度會影響虹吸鐘在排水過程中產生的虹吸拉力大小，這股拉力是造成虹吸鐘排水速度不同的主要原因，虹吸拉力越大，排水速度越快，我們也發現虹吸拉力達到最大值時所花費的時間可能會不一樣：
 - (一)透過虹吸拉力裝置的 U 型管內水位變化，虹吸鐘在排水時，虹吸拉力會逐漸變大，經過一段時間後會到達最大值。
 - (二)通管內徑越大，虹吸鐘排水時的虹吸拉力越大，且到達最大值所花費的時間越短。
 - (三)出水管長度越長，虹吸鐘排水時的虹吸拉力越大，且到達最大值所花費時間略為較長。
 - (四)出水角度越小，虹吸鐘排水時的虹吸拉力越大，但是到達最大值所花費的時間相同。

柒、參考文獻資料

- 一、虹吸現象幫水搬家。大愛電視。2013年11月11日。
取自：<https://www.youtube.com/watch?v=R6bxbGR2bks>
- 二、虹吸式馬桶結構及工作原理。愛我窩。2016年7月2日。取自：
<https://www.imynest.com/content/73605.html>
- 三、虹吸管(Bell Siphon)。芭蕉葉上聽雨聲。2013年10月26日。取自：
<http://pizgchen.blogspot.com/2013/10/bell-shipone.html>
- 四、魚菜共生介紹・魚菜生活保護地球。取自：
<https://aplifefarm.weebly.com/397703375620849299832017132057.html>
- 五、Frank chang。魚菜共生之鐘罩虹吸說明。2014年6月6日。取自：
<https://www.youtube.com/watch?v=mpCICVnDmB8>
- 六、Cid Chen。魚菜共生 虹吸鐘動作原理 - [休閒魚菜在我家]。2018年12月25日。
取自：<https://www.youtube.com/watch?v=xoqkOpCWCrY>

【評語】 080114

本作品探討虹吸鐘的最佳裝置，經由實驗發現虹吸鐘排水速度快慢和通管內徑、出水管長度及出水角度等變因有關，和進水縫隙、罩子內徑大小和罩內通管高度無關。虹吸鐘是一個多次出現在科展的研究題目，本作品添加了一些自創元素，研究方法紮實，各種變因考慮的也周全，是一件完整的作品。若能夠強調本作品和其它相近似作品相比較下有何重要或不同的發現則會更理想。

作品簡報



罩得住-

虹吸鐘排水速度與虹吸拉力之研究

國小組 物理科

壹、前言

一、研究動機：因為自然教室外面那座魚菜共生系統有時候水會直接從水盆上方溢出，所以我們想探討虹吸鐘排水速度受到哪些條件的影響，希望能找出改變排水速度的方式，改善水溢出的情形。

推測是下列條件影響

二、實驗目的與流程

虹吸鐘排水速度與虹吸拉力的研究

影響排水速度的條件

排水速度與虹吸拉力的關係

自製可以控制排水速度與植床最低、最高水位的虹吸裝置

透過研究結果自製

通管內徑大小

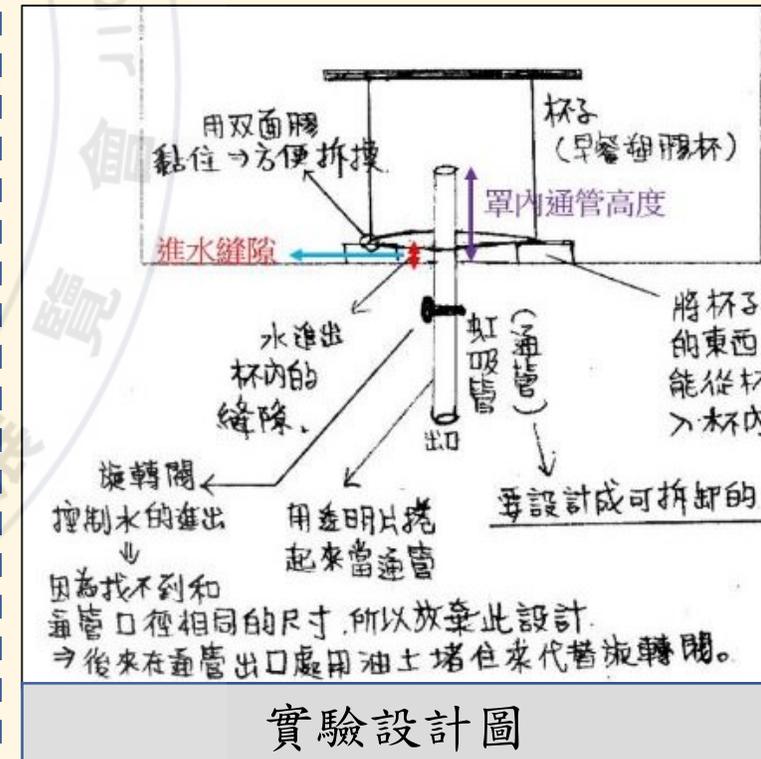
罩子與盆底縫隙

罩子內徑大小

罩內通管高度

罩外通管長度

通管出水角度



貳、研究過程與方法



實驗裝置圖

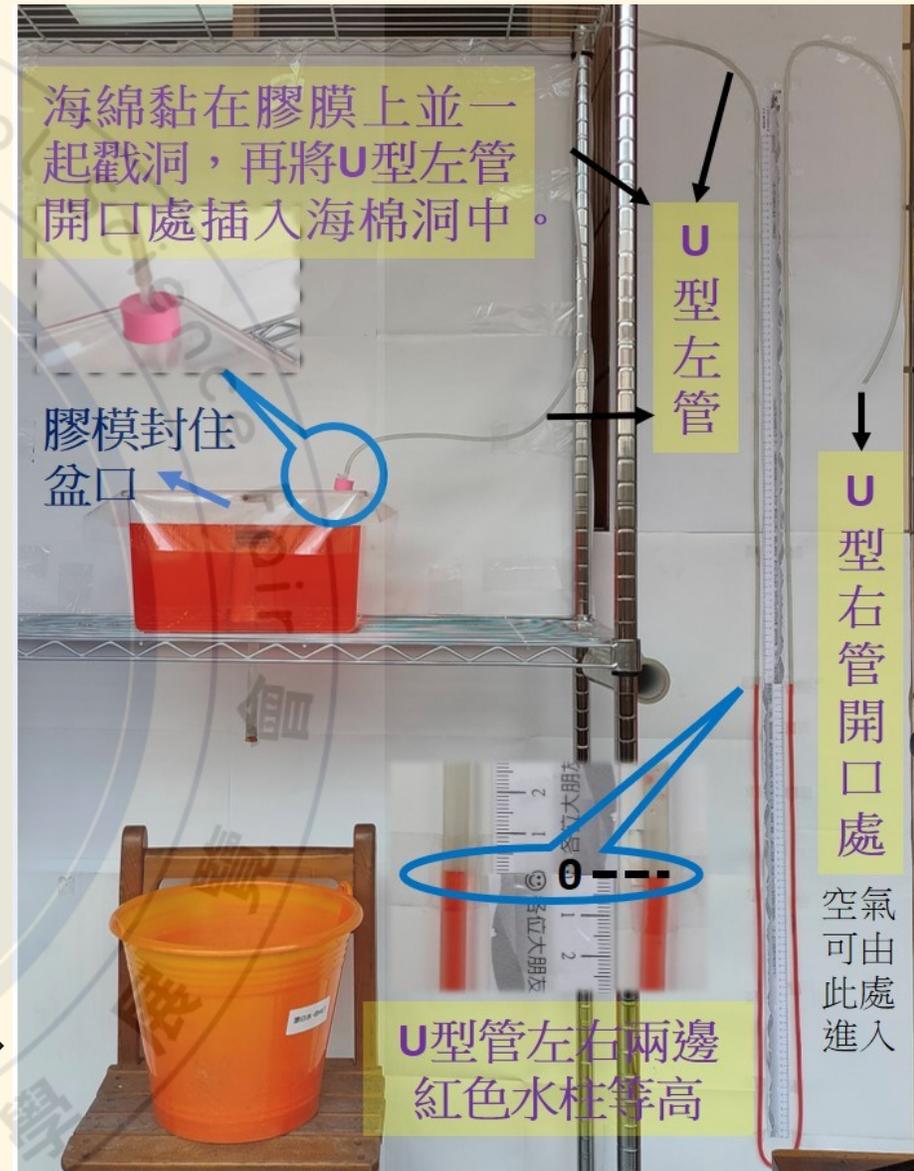
測量虹吸鐘
排水量與排水時間

討論實驗變因
與排水速度的關係

排水速度與
虹吸拉力的關係

$$\text{排水速度} = \frac{\text{排水量}}{\text{排水時間}}$$

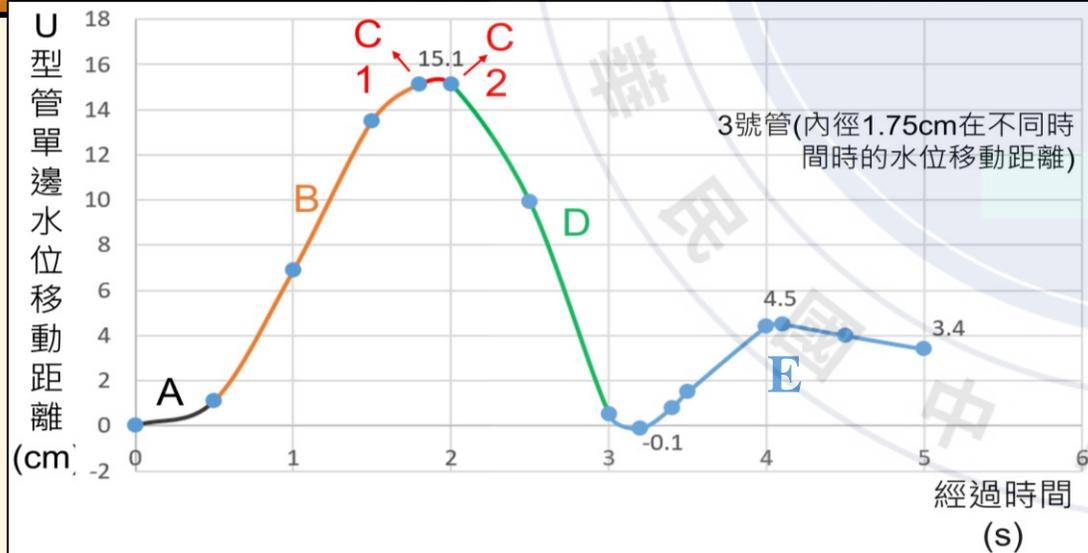
從U型右管內水位移動
變化判斷水盆內虹吸拉
力大小。



虹吸拉力裝置圖

參、研究結果與討論

一、U型右管水位變化與密封式虹吸鐘排水情況的討論



E階段
從D階段開始，空氣持續從通管下方進入罩子內，使水箱內系統壓力不穩定，導致U型右管內的水位瞬間縮回到起始水位並上下震盪，因此在E階段的曲線出現上下起伏的現象。

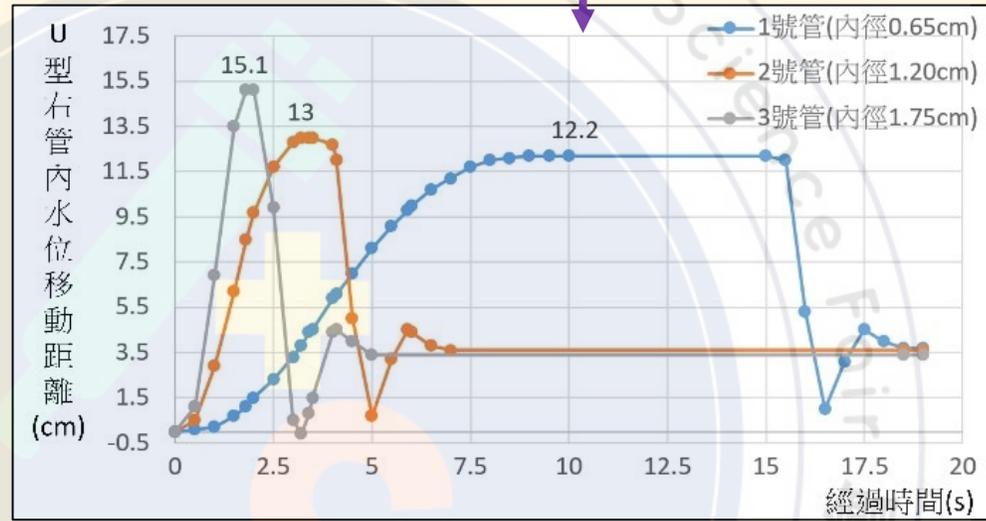
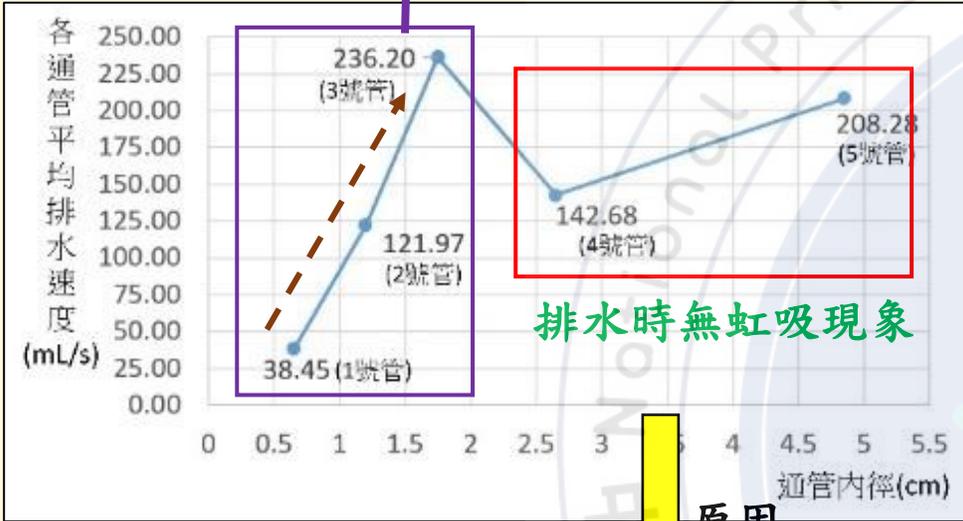
U型右管內水位移動越長



虹吸拉力越大

二、探討通管內徑大小和虹吸鐘排水速度、虹吸拉力的關係

1~3號通管排水時，不同時間的虹吸拉力變化圖(實驗八)



U型右管水位最大移動距離比較圖

管號 (通管內徑)	最大移動距離 (cm)
3號管 (1.75cm)	15.1cm
2號管 (1.2cm)	13cm
1號管 (0.67cm)	12.2cm

原因

排水時無法填滿通管
↓
通管外空氣與罩內空氣互相流通
↓
排水時無虹吸現象



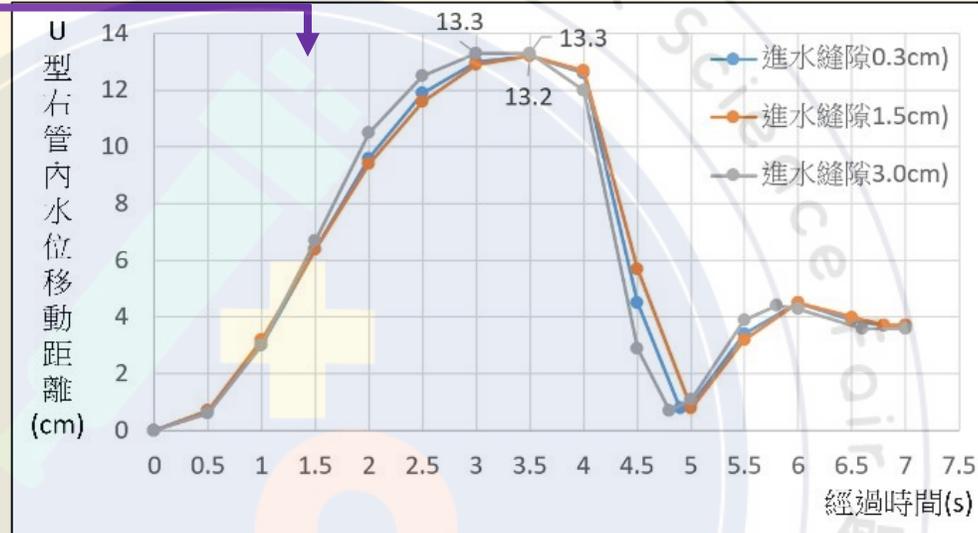
通管內徑越大 → U型右管內水位移動越長 → 虹吸拉力越大

實驗發現：

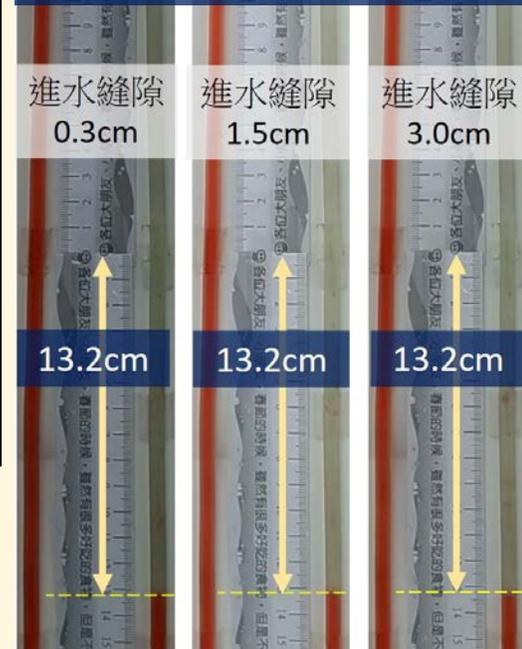
1. 通管內徑越大，虹吸鐘排水量相近，排水時間越短，虹吸拉力越大，排水速度越快。
2. 通管內徑太大，排水過程中無虹吸現象產生。

三、探討罩子與底盆間隙(進水縫隙)和虹吸鐘排水速度、虹吸拉力的關係

排水時，不同時間的虹吸拉力變化(實驗八)



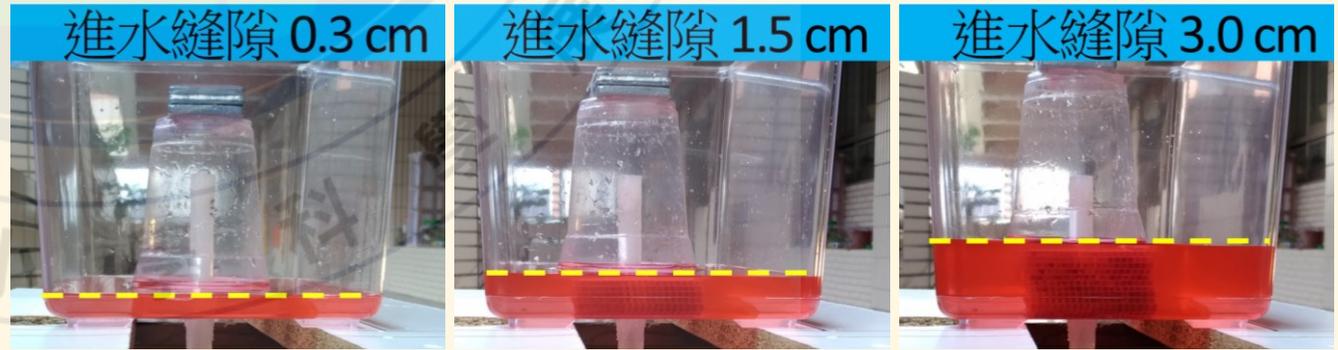
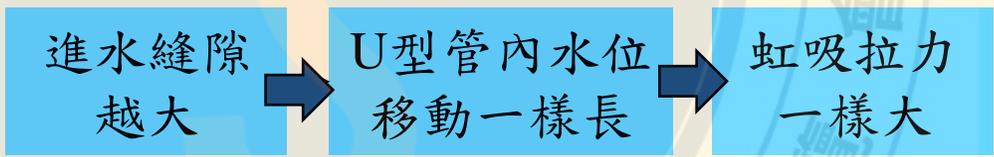
U型右管水位最大移動距離比較圖



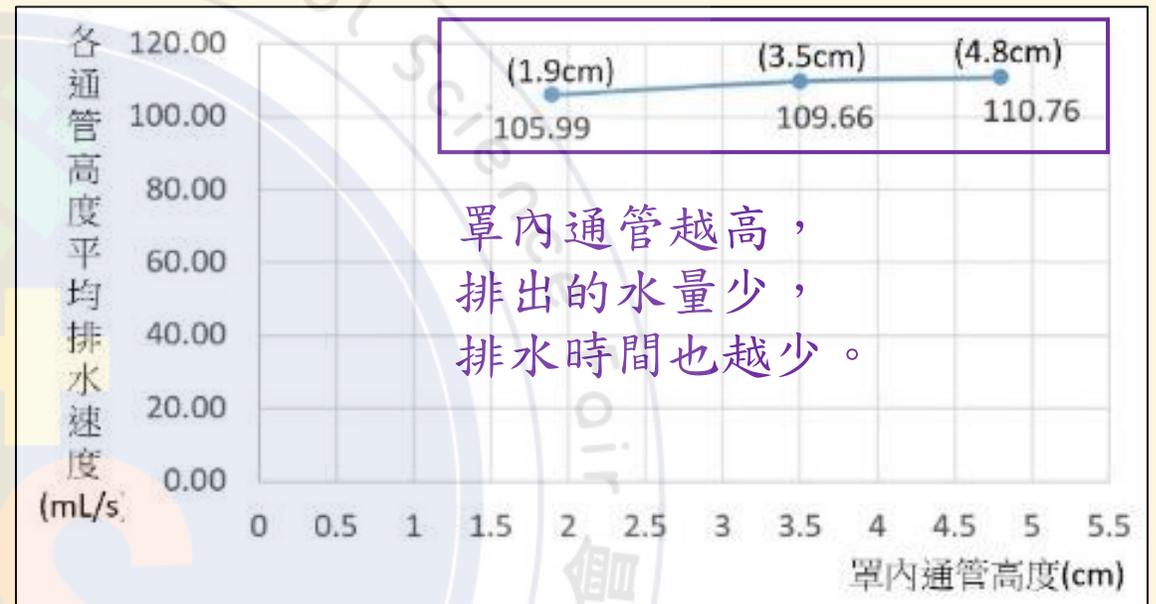
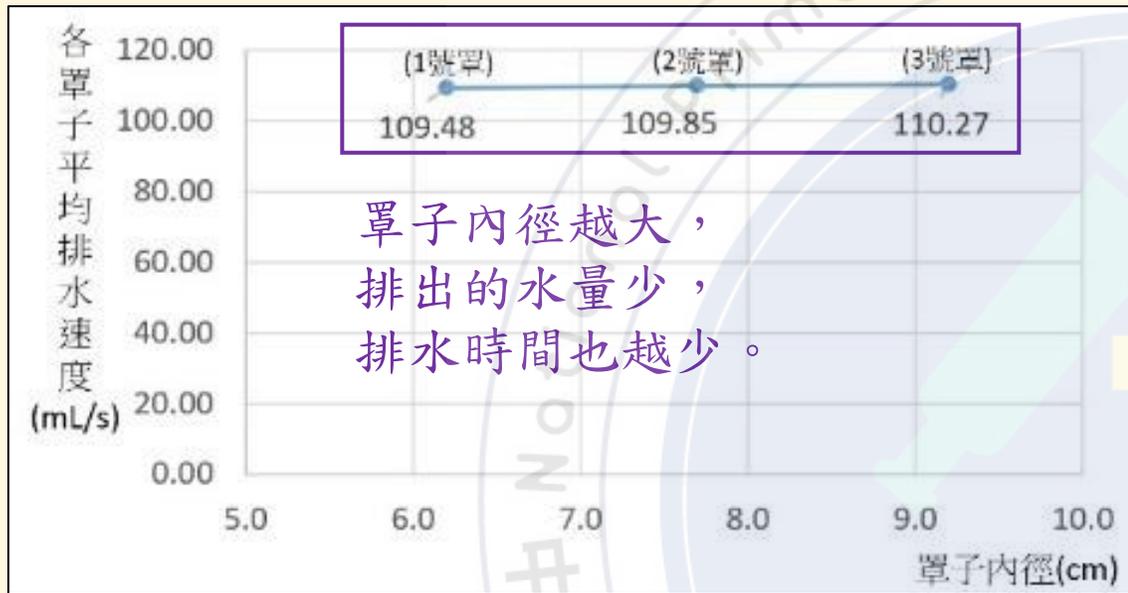
實驗發現：

1. 進水縫隙越大，虹吸鐘排水量越少，排水時間越短，但是虹吸拉力與排水速度無明顯差異。

2. 進水縫隙能控制魚菜共生系統的植床最低水位，也能控制硝化菌生長範圍！



四、探討罩子內徑大小、罩內通管高度和虹吸鐘排水速度的關係



$$\text{排水速度} = \frac{\text{排水量}}{\text{排水時間}}$$

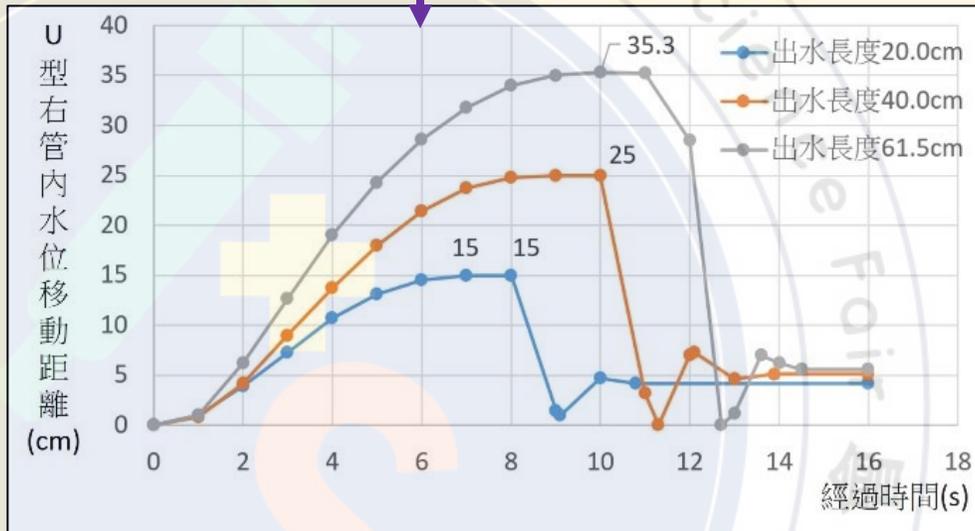
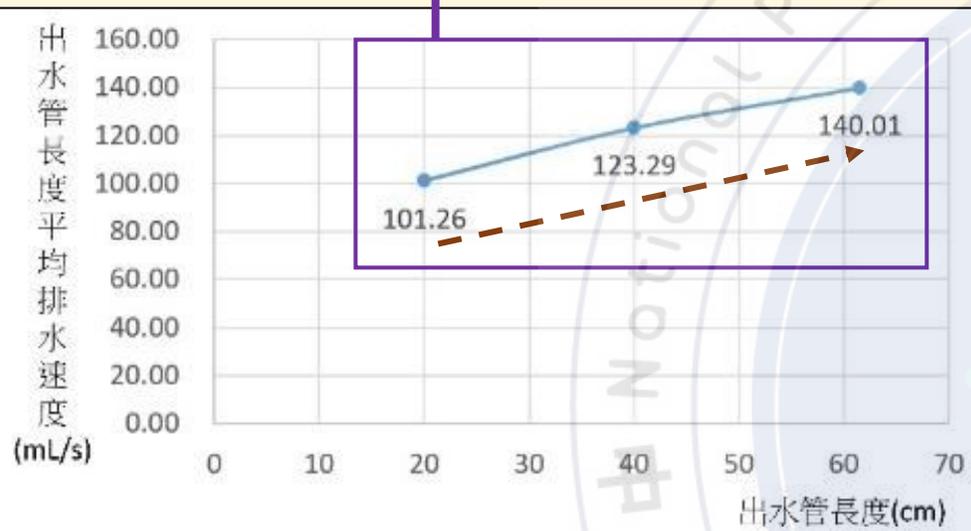
不會影響

實驗發現：

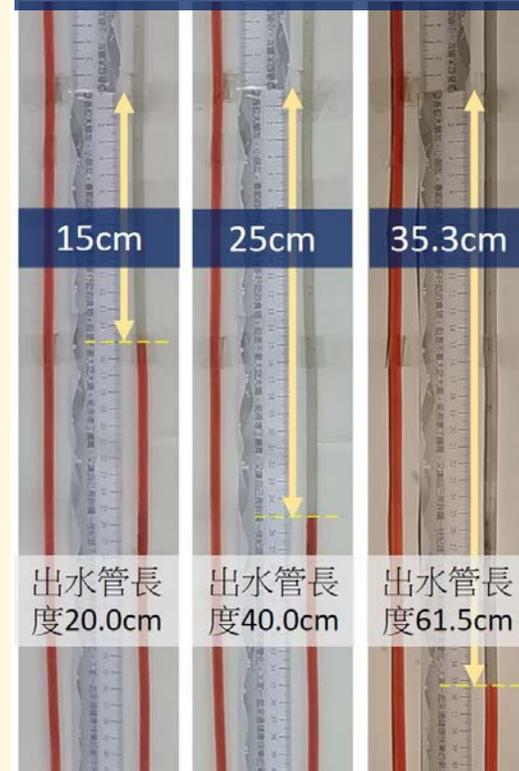
1. 罩子內徑大小、罩內通管高度**不會影響**虹吸鐘**排水速度**。
2. 罩內通管高度能**控制**虹吸鐘開始排水時，**植床內最高水位位置**。

五、探討罩外通管(出水管)長度和虹吸鐘排水速度、虹吸拉力的關係

排水時，不同時間的虹吸拉力變化(實驗八)



U型右管水位最大移動距離比較圖



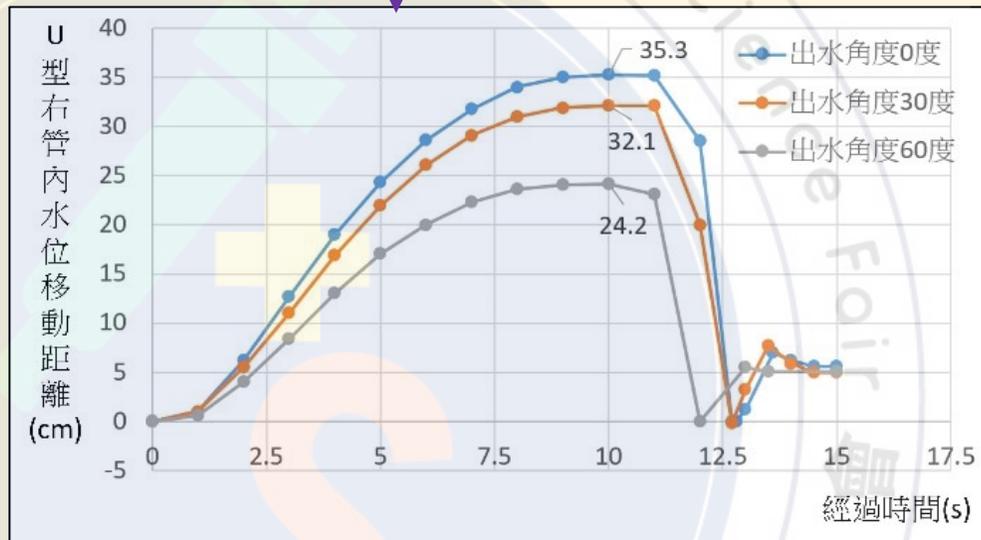
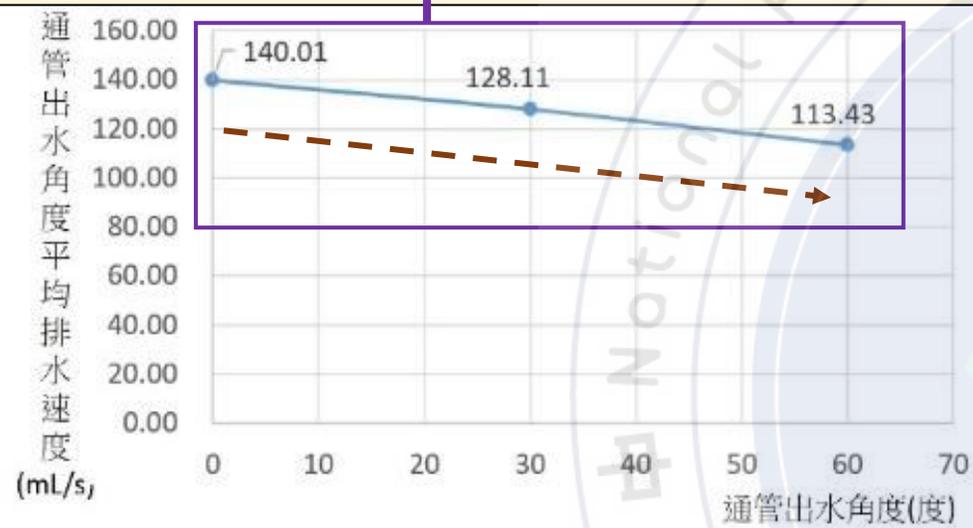
出水管長度越長 → U型管內水位移動越長 → 虹吸拉力越大

實驗發現：

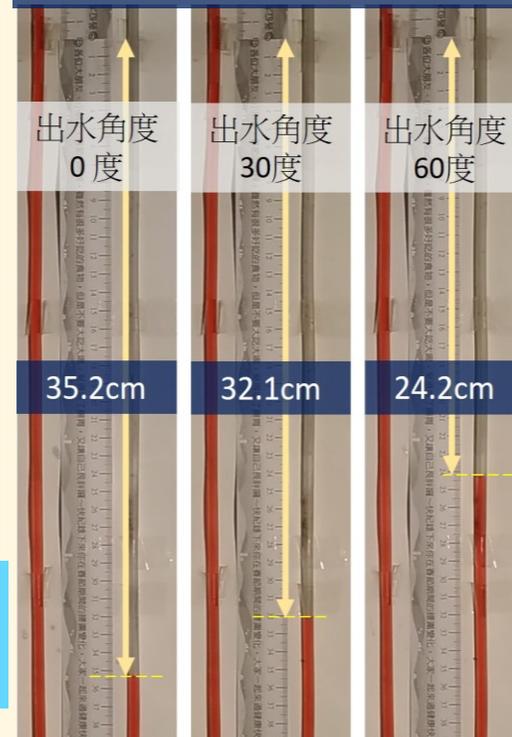
出水管長度越長，虹吸鐘排水量差異不大，但排水時間會越短，而虹吸拉力會越大，排水速度越快。

六、探討通管出水角度和虹吸鐘排水速度、虹吸拉力的關係

排水時，不同時間的虹吸拉力變化(實驗八)



U型右管水位最大移動距離比較圖



出水管出水
角度越小

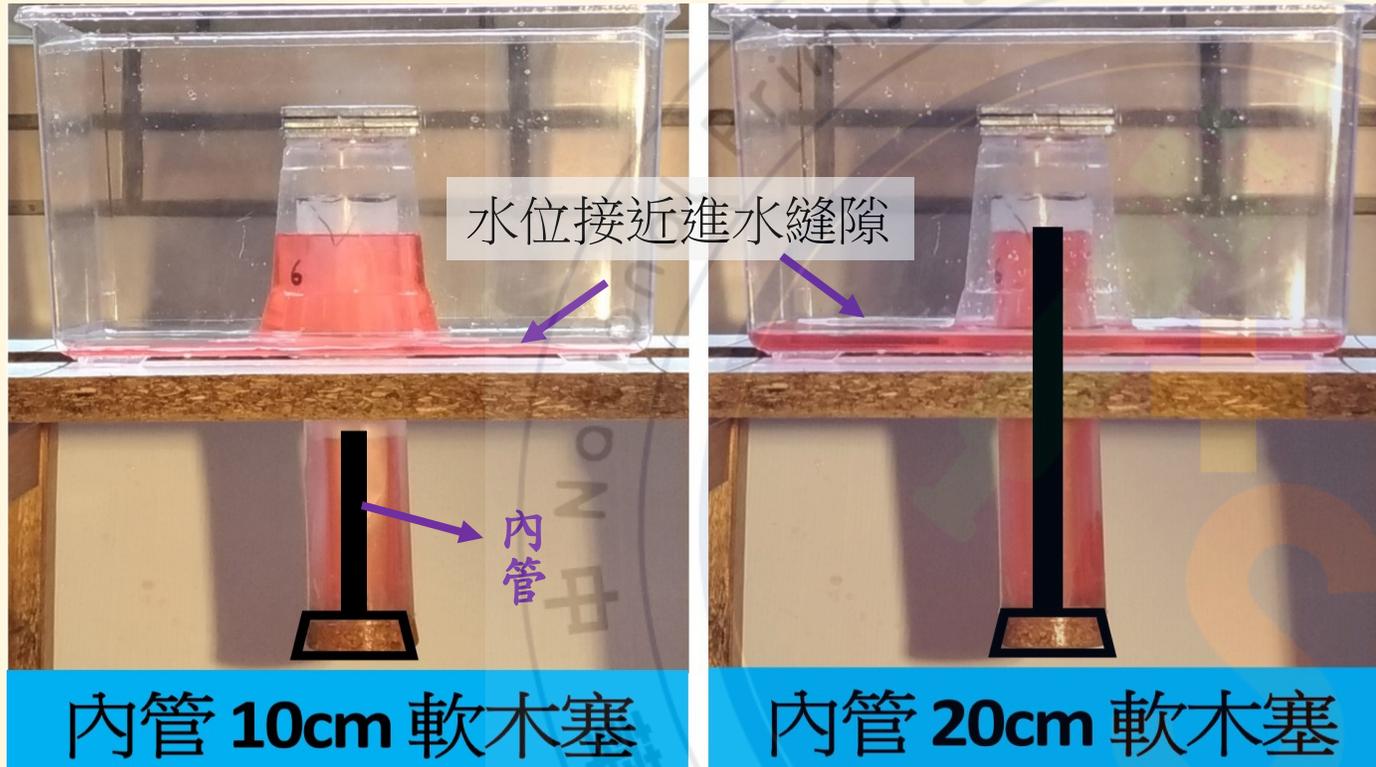
U型管內水位
移動越長

虹吸拉力
越大

實驗發現：

出水管出水角度越小，虹吸鐘排水量差異不大，但排水時間會越短，而虹吸拉力會越大，排水速度越快。

七、探討大內徑通管產生虹吸現象的方法



盆內水位降到進水縫隙

虹吸現象較佳

條件

內管長 $>$ 通管長度 $\times \frac{1}{2}$

實驗發現：

使大內徑通管產生虹吸現象的方法：**在出水處加裝內管**

優點：1. **不用拆罩**，安裝方便。

2. 盆內水位能降到最低，**虹吸效果最好**。

肆、結論

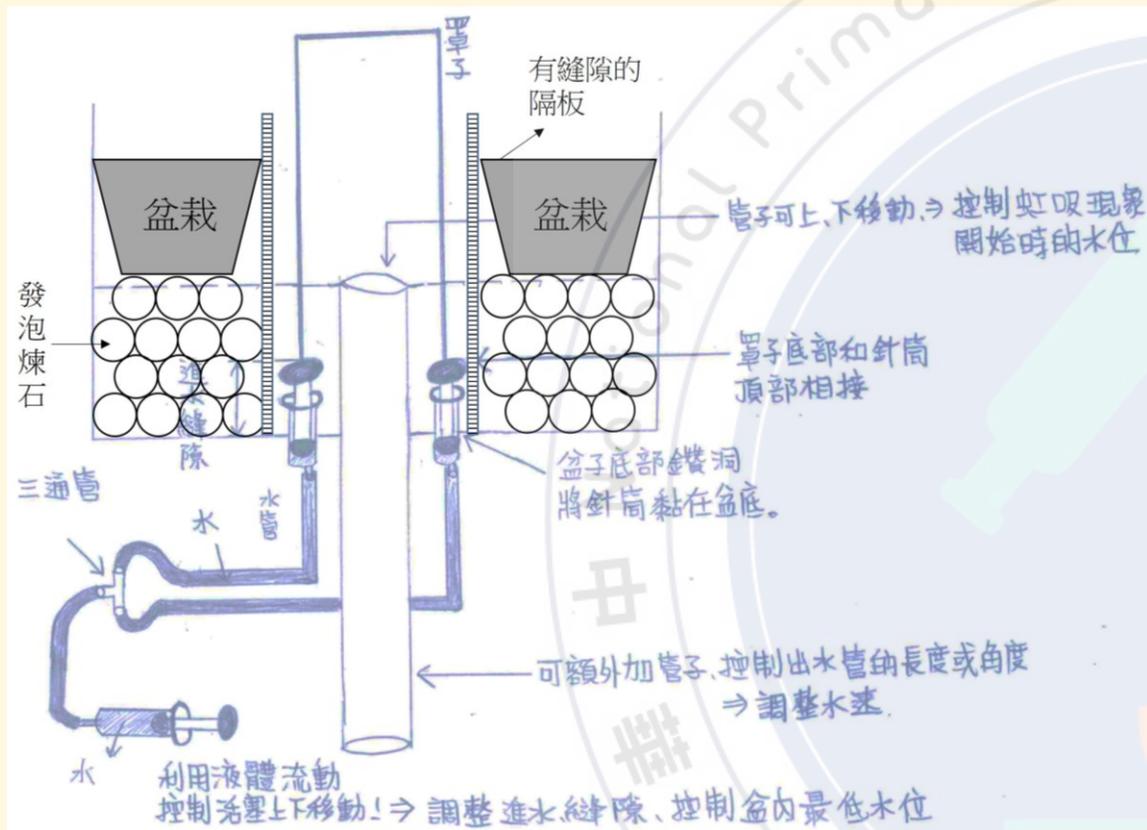
一、虹吸鐘排水速度快慢與虹吸拉力大小有關，這兩者又受到以下條件影響：



二、虹吸鐘排水速度和進水縫隙長度、罩子內徑大小和罩內通管高度無關。但在魚菜共生系統(植床部分)中有其他功能：

虹吸鐘部位	調整(控制)植床的地方	功能
進水縫隙	控制植床最低水位	1.調整發泡煉石中硝化菌生長範圍。 2.調整水注滿植床所需時間。
罩子內徑	無	無，但無罩子，虹吸鐘在排水時無虹吸現象。
罩內通管高度	控制虹吸現象發生時的植床最高水位	控制水位不超過培養土底層，避免土太潮濕。

設計與自製可種植非水耕植物的植床裝置



可種植非水耕植物的植床裝置圖

可種植非水耕植物的植床裝置設計圖

參考文獻

- 一、Frank chang。魚菜共生之鐘罩虹吸說明。2014年6月6日。取自：<https://reurl.cc/1ZWnVW>
- 二、Cid Chen。魚菜共生 虹吸鐘動作原理 - [休閒魚菜在我家]。2018年12月25日。取自：<https://reurl.cc/KboyY9>