

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學科

最佳創意獎

080822

好「繩」省水自動澆花器

學校名稱：高雄市鼓山區龍華國民小學

作者： 小四 李永麒 小六 吳紹彰 小六 柯柏安 小六 馮曉琿	指導老師： 蔡惠娟
---	--------------

關鍵詞：毛細現象、大氣壓力、自動澆花器

摘要

好「繩」省水自動澆水器，是一個全新的澆水器設計，與傳統的人工澆水、自動噴水及滴灌系統完全不同，沒有人工及噴水澆花，水資源到處溢流的浪費，更不會有滴灌式滴水孔經常堵塞，無法出水的問題。

本澆水器架構簡單，只需回收的兩個寶特瓶及吸管，再加棉繩，即可完成，操作方法容易。它利用大氣壓力、毛細現象及重力原理，由棉繩緩慢吸水到土裡。省水、節能、自動供水是澆水器的三大優點。經過測試，它比傳統的澆水方式約節省 78% 的水。此外，不需要電，利用盛水容器水位的高低及棉繩數量、種類、水沿著棉繩爬升的高度，就能精準調整控制出水量，有效提供植物生長所需用水。它適用範圍大，不管室內還是室外，大部分盆栽都可搭配使用。



傳統灑水方式，水灑到地上形成浪費。



以「澆到水滲出盆栽」為原則方式澆水約浪費的 72% 水。



使用好「繩」省水自動澆水器栽種半年以上，放在陽台，1600 克的水可用 3 星期。



盆栽位置較遠，澆水被遺忘，快枯死，以好「繩」省水自動澆水器搶救，現在綠意盎然。

壹、研究動機

當我們澆花時，大家是否注意到，有很多水流到地上或是底盤呢？事實上，所用的水只有部分保留在土裡。澆水這件事看起來稀鬆平常，但我們在不知不覺中，浪費多少珍貴的水資源！

三年級種菜的經驗，讓人感受更深。有的人初次種菜，水澆太多，導致底盤滲水。每天看著水到底盤或流出地上，覺得好可惜啊！另一個問題是，很多人一下課就跑出法玩，玩到忘記澆水，導致菜苗長不好或枯死。遇到這些澆水的難題該怎麼辦呢？

事實上，已經有不少人研發自動澆水器。我們發覺，要達到自動澆水，這件事並不難，但有的澆水器價錢昂貴，有的製作過程複雜。有些澆水器雖然有自動給水的優點，卻需使用馬達，耗電不省水。有的澆水器雖然省水，卻有孑孓容易滋生的問題。

如果，我們能設計一款好用的澆水器，既能節約水源，又能解決短期間忘記澆水，還能避免孑孓問題的澆水器。相信能讓更多喜好種植的朋友受惠，所以我們找了幾個志同道合的伙伴一起研究，開始這段辛苦的研究旅程……

貳、研究目的

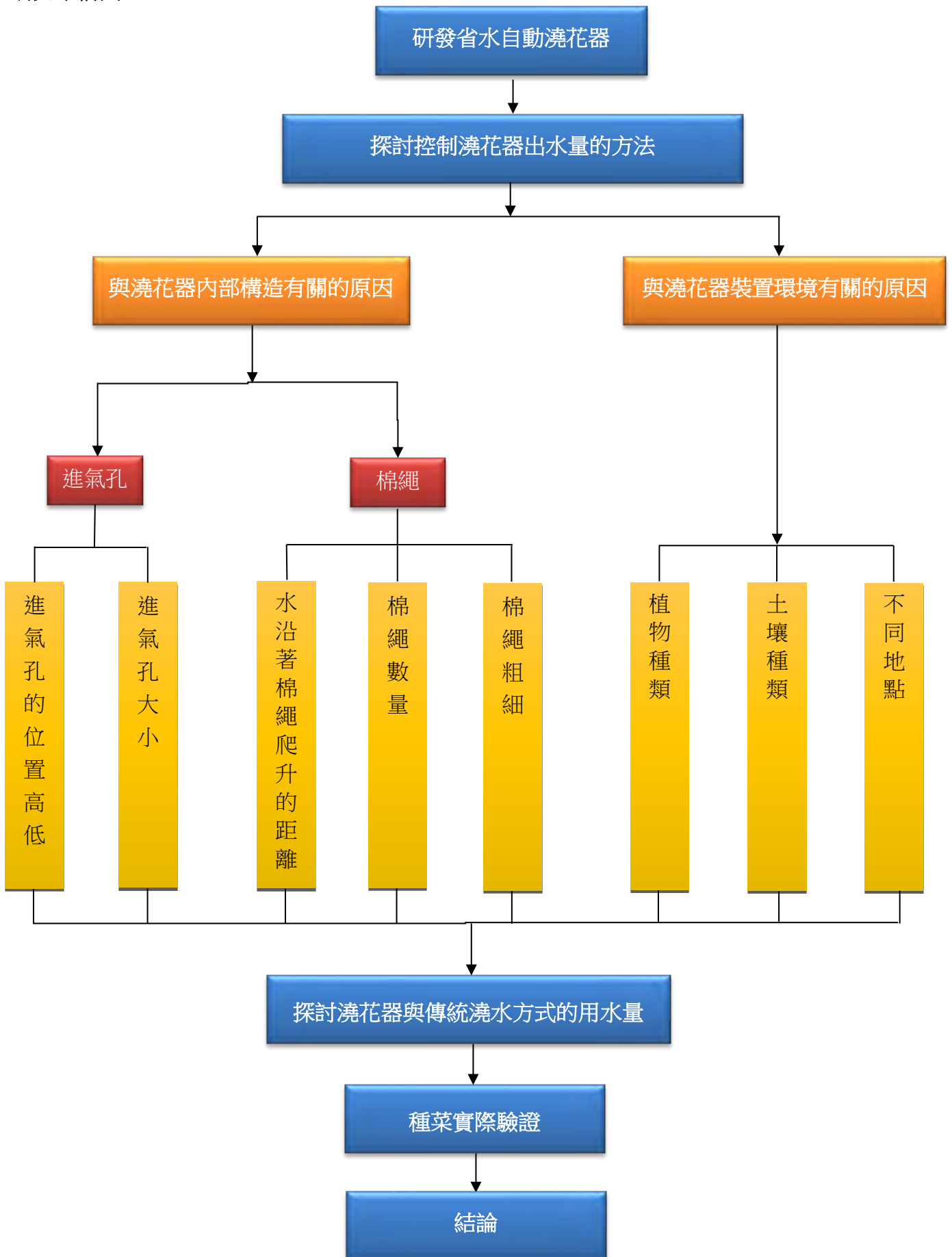
- 一、設計可以省水節能製作容易的自動澆水器。
- 二、探討澆水器內部構造與出水量的關係。
- 三、探討澆水器裝置環境與出水量的關係。

參、研究設備器材

- 一、600 毫升、1830 毫升、2200 毫升的寶特瓶、5 種不同粗細的棉繩、吸管、隔板
- 二、花盆、培養土、壤土、仙人掌盆栽、柚子盆栽、甜萵苣盆栽、紫蘿蔓盆栽
- 三、滴管、漏斗、塑膠盆、透明塑膠箱、燒杯、電子秤
- 四、鐵絲、尖嘴鉗、螺絲起子、小刀、剪刀、酒精燈、鏟子
- 五、數位相機、攝影機

肆、研究方法

研究架構圖



一、澆花器製作

(一)設計澆花器

在設計前，我們參考 49 屆科展--滴水不漏~節能環保自動澆花器，同學所製作的澆花器，頗具巧思，以寶特瓶做為澆花器的幫浦及水塔，結合太陽能，可以自動補充水箱流失的水量。但不適用在室內，只能用在出大太陽的戶外，也不適用在需水量低的植物，所使用的定時定量水杯，在時常飽受登革熱威脅的南台灣，有滋生子子的困擾，且設計架構複雜，製作不易。從作品所提供的數據，以小盆栽來看，一天用掉 300-1200，且多餘的水外流，形成浪費不省水。

直接用棉繩將水吸至盆栽是很普遍的作法，如 48 屆科展作品，及網路上都可以找到這種方式，但是它最大的問題是無法控制出水量，而且同樣有子子容易滋生的問題。

我們希望所設計的澆花器，能改善這些問題。一開始，每個人各自構思自動澆花器，但所畫設計圖都有缺失，改了很多次，終於設計出這款澆花器，如圖 1。在圖中，我們特別標示並定義實驗所指的名詞。

1. **供水瓶**：以瓶身較細的寶特瓶作為供水瓶，提供植物水。
2. **盛水容器**：瓶身較粗的寶特瓶割一半，作為盛水容器，承接供水瓶流出的水，及置放棉繩、吸管。
3. **進氣孔高度**：本實驗進氣孔高度的起始點，是由寶特瓶瓶口下方沿著瓶身的曲面測量。
4. **進氣孔直徑**：本實驗進氣孔大小以直徑來設定。進氣孔直徑 0.5 公分，指的是進氣孔高度往下量 0.5 公分，以此 0.5 公分為直徑。如進氣孔高度 5 公分直徑 0.5 公分，指的是在進氣孔離瓶口 4.5 公分到 5 公分之間的 0.5 公分。
5. **水沿著棉繩爬升的距離**：本實驗指以盛水容器水位高度為起始點，吸管的最頂端為終點的這段距離。
6. **盛水容器水位**：本實驗指水在盛水容器中的深度。

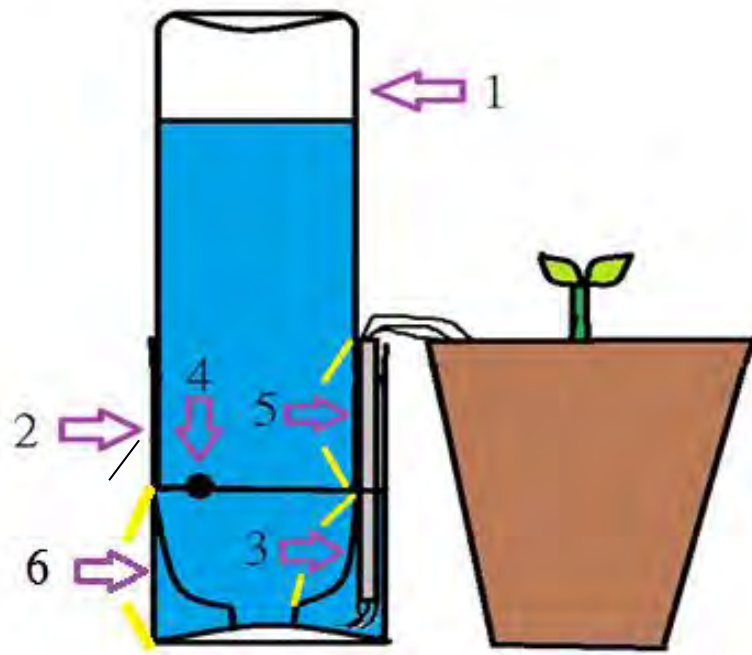


圖 1. 澆水器計設圖

(二)製作澆花器的方法

製作過程如下：

 <p>1.準備兩個的寶特瓶，其中一個瓶身直徑稍小一點。</p>	 <p>2. 稍小的寶特瓶作為供水瓶，在瓶身鑽洞、裝水。</p>	 <p>3.稍大的寶特瓶割一半，作為盛水容器，置放棉繩、吸管。</p>
 <p>4.棉繩套入吸管，放入盛水容器。</p>	 <p>5.將 4 倒放在供水瓶上。</p>	 <p>6.將 5 整個裝置倒過來，再把棉繩埋進土裡即可。</p>

二、好「繩」省水自動澆花器的供水原理

(一)大氣壓力

當裝水的「供水瓶」倒放在「盛水容器」的瞬間，空氣快速的從供水瓶的進氣孔，跑進供水瓶裡(如圖 2)。供水瓶裡的壓力失衡，使水從瓶口及洞口流到盛水容器，一直流到供水瓶進氣孔高度這地方，堵住進氣孔，也就是供水瓶內部壓力與大氣壓力相等，供水瓶立刻停止出水到盛水容器(如圖 2)。這個過程所運用的正是**大氣壓力**的原理。

在圖 3 中，我們可發現最左方的供水瓶進氣孔最低，盛水容器的水位也最低，最右方的供水瓶進氣孔最高，盛水容器的水位也最高。也就是說，「**供水瓶的進氣孔高度**」決定盛水容器水位的高低。

當水被棉繩吸至土裡後，盛水容器水位下降壓力失衡，空氣又會從供水瓶上的進氣孔跑進去，水從供水瓶瓶口流入盛水容器，盛水容器水位增高堵住進氣孔，供水瓶內部壓力與大氣壓力相等，供水瓶停止供水，如此週而復始，緩慢的提供植物所需要的水。

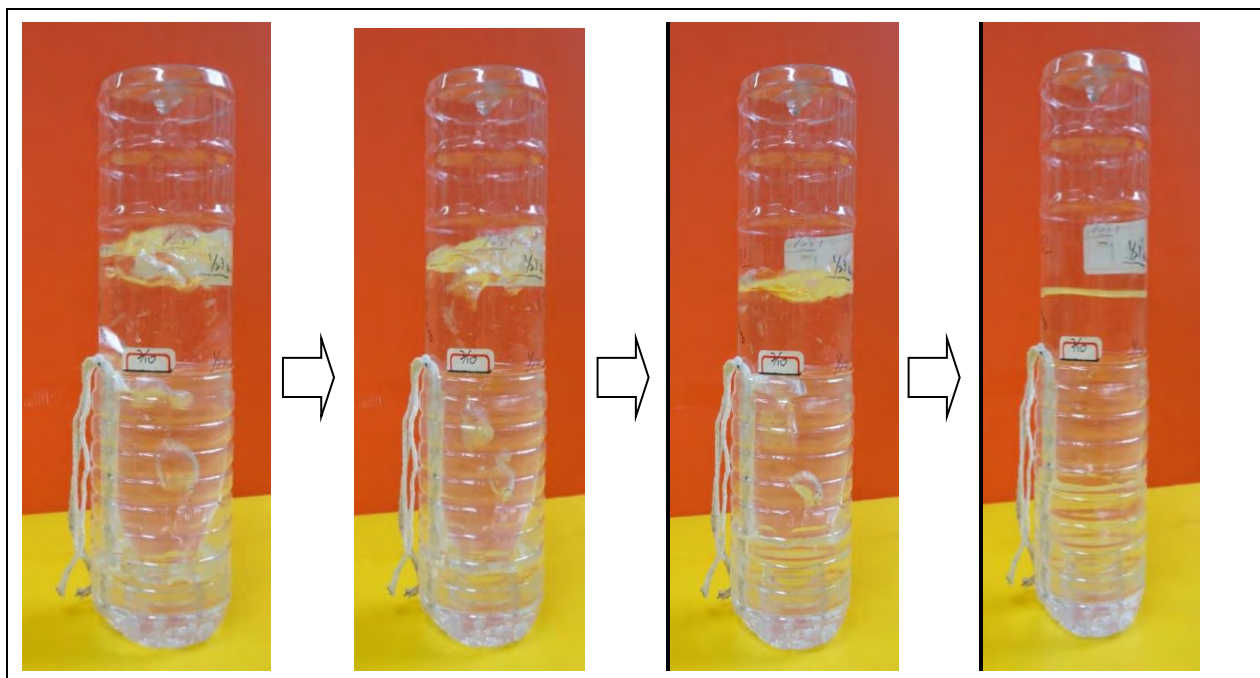


圖 2. 空氣快速的從供水瓶的進氣孔跑進供水瓶裡



圖 3. 供水瓶的水會流到盛水容器，直到供水瓶進氣孔的高度這地方。

(二)毛細現象：水移動的過程

當供水瓶出水到盛水容器後，此時，有一段棉繩泡水，另一段未泡水。未泡水的棉繩在**毛細現象**作用下，水克服地心引力，往上爬升，沿著棉繩流至盆栽，並逐漸擴散到土裡。

圖 4 中，我們在同一時間，往供水瓶滴了紅色食用色素，並觀察到水沿著棉繩爬升的情況。右邊三個澆水器，進氣孔高，水沿著棉繩爬升的距離短，原本白色的棉繩，因為毛細作用，整條白色的棉繩很快變成紅色，接著就看到燒杯也流出紅色的水，這表示已經水已經由盛水容器移到燒杯裡了。

左邊三個澆水器，進氣孔低，水沿著棉繩爬升的距離長，原本是白色的棉繩，也因為毛細作用，慢慢變成紅色，但因棉繩爬升的距離長，在毛細現象與重力交互作用下，水爬升比較慢，所以只有放在盛水容器的棉繩變紅色。



圖 4. 原本白色的棉繩因毛細作用，使供水瓶內的水附著在棉繩上，因而慢慢變紅色。

伍、研究過程與結果

好繩省水自動澆水器,和一般棉繩吸水到盆栽最大的差異,是利用簡單的物理原理,控制出水量。那麼,使用者如何控制出水量?本研究分為三部分探討:一、澆水器內部構造與出水量的關係(實驗一-實驗五),二、澆水器裝置環境與出水量的關係(實驗六-實驗八)。三、澆水器的效能(實驗九-實驗十)。

一、澆水器內部構造與出水量關係的實驗

(一)實驗一：澆水器供水瓶進氣孔的位置高低與出水量的關係

第一個實驗,是供水瓶進氣孔的位置高低與出水量的關係。我們認為「供水瓶的進氣孔高度」會影響盛水容器水位的高低,因為盛水容器水位愈高,水沿著棉繩爬升的距離相對短,越容易跑進土裡。

1.操作方法

- (1)以三種進氣孔的高度做實驗,每種高度各做3瓶,共9瓶。進氣孔的高度分別為瓶口下緣2cm、5cm、8cm處。每瓶放置30cm長的棉繩3條在12cm高的盛水容器。製作好澆水器後,供水瓶裝400克的水,以燒杯承接棉繩吸出的水(如圖5)。
- (2)我們量了每種澆水器中,水沿著棉繩爬升的距離。進氣孔離瓶口2cm的澆水器,水沿著棉繩爬升往上約9公分。進氣孔離瓶口5cm的澆水器,水沿著棉繩爬升往上約6公分。進氣孔離瓶口8cm的澆水器,水沿著棉繩爬升往上約3公分。
- (3)為了能清楚看到棉繩爬升的情況,將每瓶滴2毫升的食用色素。每天量出水量,共三天。



圖5. 澆水器供水瓶進氣孔的位置高低與出水量的實驗擺置

2.實驗結果如表 1

表 1

澆水器供水瓶進氣孔不同的位置高低所吸出的水量(單位:克)

出水量	環境		進氣孔高度 2cm				進氣孔高度 5cm				進氣孔高度 8cm			
	溫度	濕度	A1	A2	A3	平均	B1	B2	B3	平均	C1	C2	C3	平均
第一天	29	79%	1	2	3	2	13	11	9	11	162	124	159	148
第二天	28	81%	1	2	3	2	12	9	6	9	69	41	86	65
第三天	27	79%	2	2	3	2	13	9	6	9	56	53	43	51
平均每天出水量			1.3	2.0	3.0	2.1	12.7	9.7	7.0	9.8	95.7	72.7	96.0	88.1

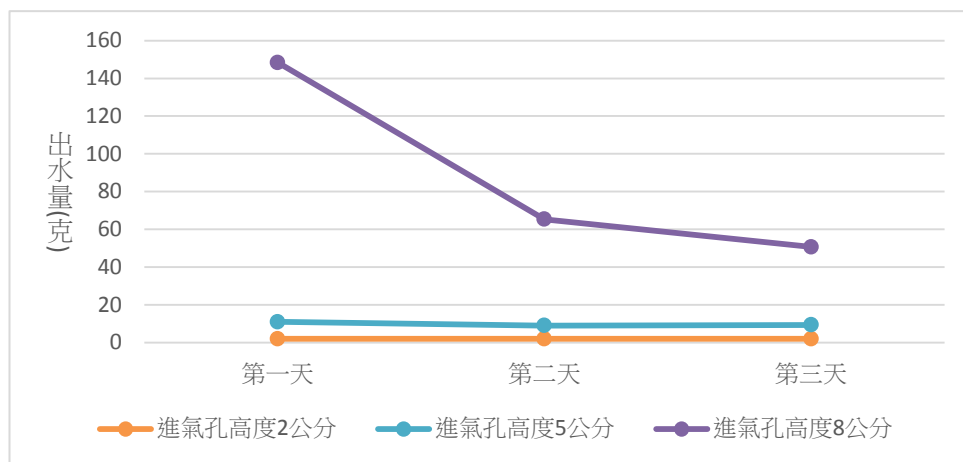


圖 6. 澆水器供水瓶進氣孔的位置高低與出水量的關係圖

3.實驗討論

- (1)完成實驗裝置後，我們以攝影機拍攝澆水器花多久時間，流出第一滴水。在實驗開始時，每個供水瓶都裝 400 克的水，但因進氣孔高低不同，流到盛水容器的水量不同，其中，以進氣孔離瓶口 8cm 的盛水容器最多，水位最高。水位越高，水沿著棉繩爬升的距離最短，所以進氣孔離瓶口 8cm 澆水器裡的水最快移動到燒杯，花費 26 分鐘，平均 1 分鐘爬 0.731 公分。進氣孔離瓶口 5cm 的澆水器，花費 100 分鐘，平均 1 分鐘爬 0.22 公分，速度第二。結果進氣孔離瓶口 2cm 的澆水器，花費 260 分鐘，平均 1 分鐘爬 0.096 公分，速度最慢。
- (2)進氣孔離瓶口 2cm 平均每天的出水量 2 克，進氣孔離瓶口 5cm 者為 9.8 克，兩者進氣孔高度差 3 公分，這段距離所造成的出水量約相差 5 倍。但進氣孔離瓶口 5cm 和 8cm 的高度一樣差 3 公分，出水量卻將近差 9 倍之多。也就是說，進氣孔超過

5 公分，出水量會比進氣孔未超過 5 公分的差距更大。

(3)進氣孔 8 公分高的澆花器，棉繩摸起來的感覺最濕，不但最快出水，出水量也最多。進氣孔 2 公分高的澆花器，棉繩摸起來的感覺，並不那麼潮濕。不但最慢出水，出水量也最少。

(4)供水瓶的進氣孔高度，決定盛水容器的水位，進而影響澆花器出水量，這是毛細現象與重力交互作用所造成的結果。像進氣孔離瓶口 8cm，水在棉繩中爬升的距離約有 3 公分。水沿著棉繩爬升時，毛細現象會把水往上吸，但地心引力會把水往下拉，這兩股相互拉鋸的距離約 3 公分，水爬升的距離越短，這兩股力量拉扯的距離就短，當然出水的速度會比進氣孔低的快。但進氣孔離瓶口 2cm，水在棉繩中爬升的距離約有 9 公分，水移動的速度受毛細作用和地心引力這兩股相互拉鋸，距離有 9 公分之遙，而且路途中還有可能被蒸發，這應該是造成出水量只有 2.1 克的原因。

(5)實驗第一天開始時，進氣孔離瓶口 8cm 的澆花器，因為水在棉繩中爬升的距離較短，第一天流掉將近 150 克水後，供水瓶的水低於進氣孔，盛水容器水位因無法獲得供水瓶的水補充，水位日益下降，水在棉繩中爬升的距離，隨時間增加而增長，造成水移動的速度減緩，所以在第二天，出水量大為減少，有 65 克。第三天，盛水容器的水位更低，所以出水量又比第二天少，有 51 克。進氣孔離瓶口 2 及 5cm 的澆花器，則沒有這種明顯的差異，因為盛水容器的水位都在進氣孔高度的位置，沒有改變。

(6)供水瓶上所鑽的進氣孔設定在「高」的位置，盛水容器的水位高，出水量就多，適合對水需求量高的植物。供水瓶上所鑽的進氣孔設定在「低」的位置，盛水容器的水位低，出水量就少，適合對水需求量低的植物。

(二)實驗二：澆花器供水瓶進氣孔的大小與出水量的關係

我們在做「澆花器供水瓶進氣孔位置高低與出水量的關係」實驗時，發現了盛水容器水位都是在進氣孔位置，我們想知道進氣孔的大小是否會影響出水量，有的同學認為會影響出水量，因為空氣容易跑進去供水瓶，有人認為不會，因為進氣孔的高度

一樣，於是我們設計了這個實驗驗證。

1.操作方法

我們設計了三種進氣孔大小的供水瓶實驗，進氣孔高度都是 5 公分，直徑分別是 0.3 公分、0.5 公分、1 公分(如圖 7)。供水瓶水量是 450 克，棉繩長度是 30 公分，每個澆花器有 3 條棉繩。17:00 完成實驗裝置，每天 17:00 測量流到燒杯中的水量。

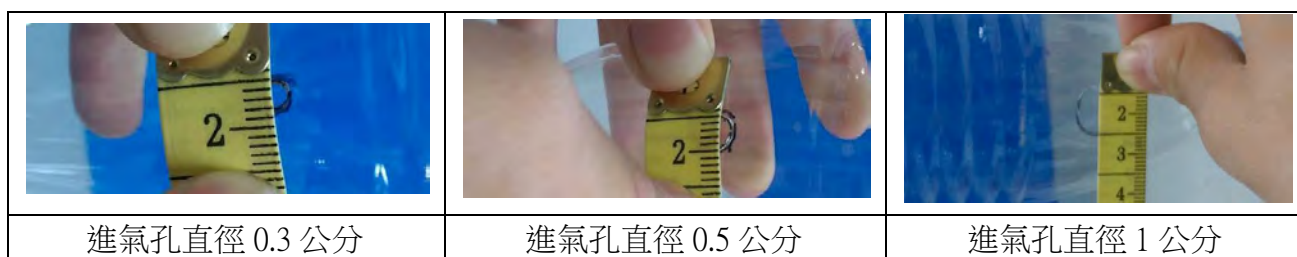


圖 7. 澆花器供水瓶進氣孔的大小

2.實驗結果如表 2

表 2.

澆花器供水瓶不同進氣孔大小的出水量(單位:克)

時間 \ 環境	溫度	濕度	進氣孔直徑 0.3cm				進氣孔直徑 0.5cm				進氣孔直徑 1cm			
			A1	A2	A3	平均	B1	B2	B3	平均	C1	C2	C3	平均
第一天	29	79%	23	16	20	19.7	25	23	21	23	25	18	16	19.7
第二天	28	81%	24	19	25	22.7	24	26	29	26.3	13	26	25	21.3
第三天	27	78%	24	17	28	23	29	30	28	29	16	28	24	22.7
平均每天出水量			23.7	17.3	24.3	21.8	26	26.3	26	26.1	18	24	21.7	21.2

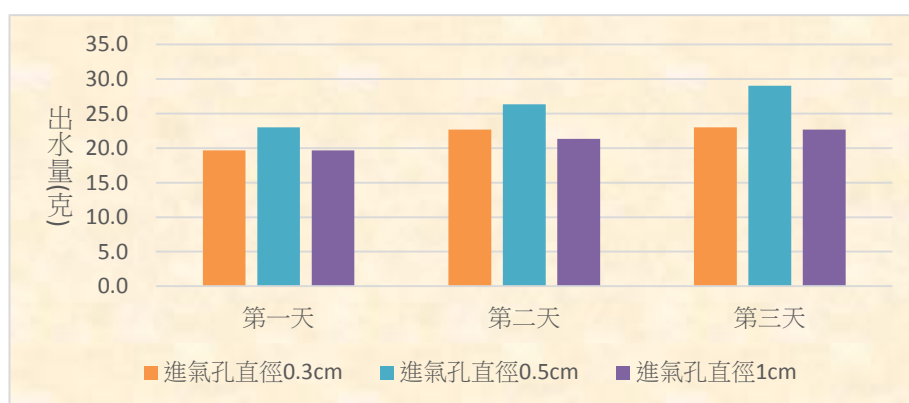


圖 8. 澆花器供水瓶進氣孔大小與出水量的關係圖

3.實驗討論

(1)進氣孔直徑 0.3 公分平均每日出水量為 21.8 克，進氣孔直徑 0.5 公分為 26.1 克，進氣孔直徑 1 公分為 21.2 克。從數據看來，即使進氣孔直徑 1 公分的澆花器，出

水量也沒有大於直徑 0.5 或 0.3 公分，因此進氣孔大小並不會影響出水量。

(2)由實驗(一)(二)可知，**進氣孔位置的高低與出水量有關，但進氣孔大小不影響出水量**。這是因為進氣孔位置高低不同，盛水容器的水位就不同，但進氣孔大小雖不同，都是在同樣的高度，盛水容器水位也就相同，因此出水量差不多。

(三)實驗三：水沿著棉繩爬升的距離與出水量的關係

進氣孔位置的高低，會造成澆花器出水量有明顯的差異，我們認為主要是因為進氣孔愈高，盛水容器的水位越高，水沿著棉繩爬升的距離就越短。因此，接下來做這個實驗證實。在澆花器中，水分主要是由棉繩吸出，我們也想知道水沿著棉繩爬升的極限，究竟毛細作用可以讓水沿著棉繩爬到幾公分？為減少其他因素的影響，我們只模擬澆花器的部分構造，以盛水容器裝水，燒杯承接棉繩吸出的水。

1.操作方法

我們將水沿著棉繩爬升的距離分成 4 組。根據進氣孔的高度與出水量的關係實驗，洞高度 8cm 的裝置，出水量最多，水沿著棉繩爬升的距離約 3cm，所以我們將水沿著棉繩爬升的距離決定訂為 3、6、9、12cm，棉繩的總長度為 30、33、36、39cm，每個裝置使用 3 條棉繩，12 公分高的盛水容器裝 300 克的水(如圖 9)。我們把棉繩的一端放在盛水容器，另一端放在燒杯，最後再量燒杯裡面的水量。

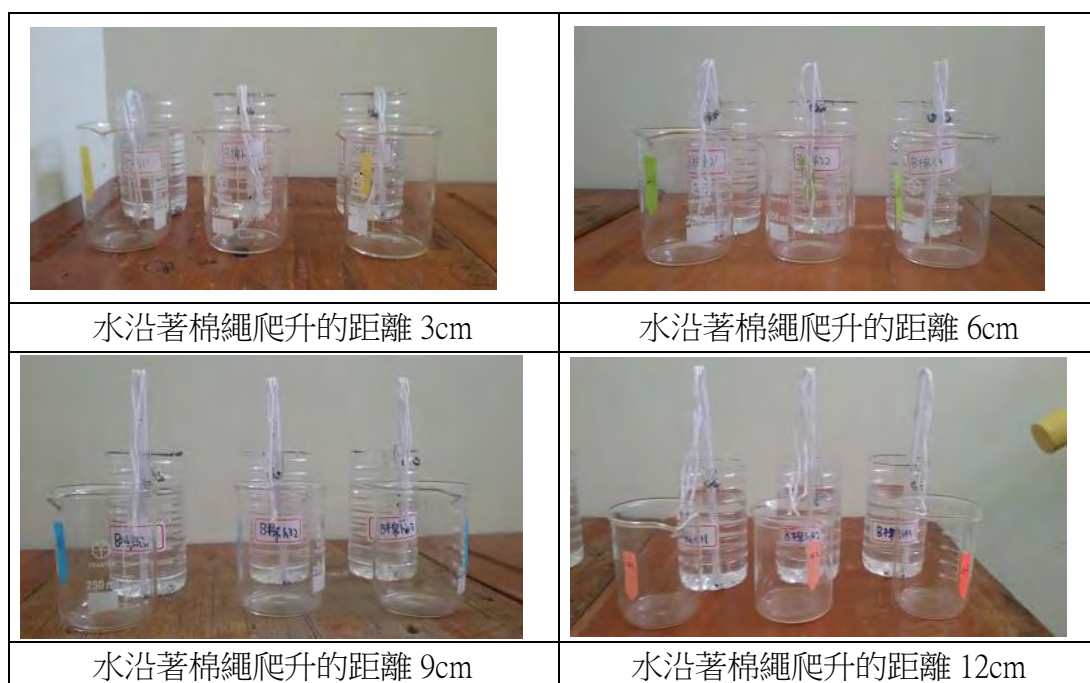


圖 9 水沿著棉繩爬升的 4 種距離

2. 實驗結果如表 3

表 3

水沿著棉繩不同爬升距離的出水量(單位:克)

水爬升高度 出水量	3cm				6cm			
	A1	A2	A3	平均	B1	B2	B3	平均
平均每小時	0.951	0.699	1.258	0.970	0.090	0.090	0.065	0.082
平均每日	22.8	16.8	30.2	23.3	2.2	2.2	1.5	2.0
46.5 小時的總出水量	44.2	32.5	58.5	45.1	4.2	4.2	3	3.8

註：因水沿著棉繩爬升距離為 9cm 及 12cm 的出水量為 0，因此不列入表中。

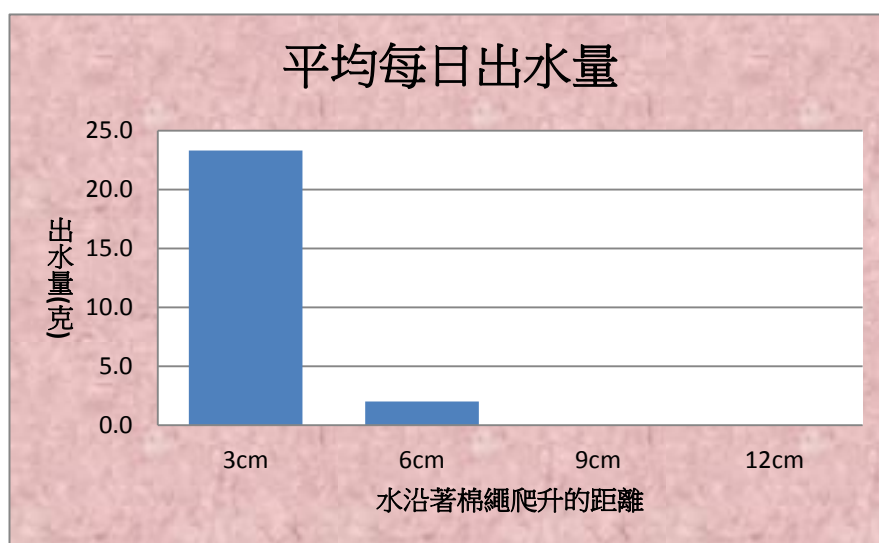


圖 10. 水沿著棉繩爬升的距離與出水量的關係圖

3. 實驗討論

- (1) 由實驗可知，水沿著棉繩爬升的距離越短，出水量越多；爬升的高度越長，出水量越少。水沿著棉繩爬升 3cm 的裝置最多，平均每日出水量 23 克，水沿著棉繩爬升 6cm 的裝置 2 克，是第二。
- (2) 我們觀察到當天做實驗時，比較冷，澆水器出水速度很慢。水沿著棉繩爬升距離 9cm、12cm 的裝置，出水量都是 0 克，可見棉繩的毛細作用受到重力的影響，是有極限的，同時也發現天氣會影響出水量。
- (3) 做實驗一時，天氣炎熱，離供水瓶進氣孔高度 8cm 的裝置，平均每日出水量 88 克。這個規格和水沿著棉繩爬升的距離 3cm 相仿，但出水量卻比水沿著棉繩爬升的距離 3cm 的裝置高出 3 倍以上。我們發現到，天氣熱，出水量會比天氣冷

時多。為什麼會有這樣的差別呢？做兩個實驗的溫濕度不同，兩者交互作用下，可能因為天氣熱，蒸散作用快，所以出水量比天氣冷時高出許多。

(4) 在這個實驗裡，水沿著棉繩爬升的距離 6 公分，平均每日的出水量 2 克。實際運用澆花器，就要注意天氣冷時，水沿著棉繩爬升的距離不可超過 6cm，超過這個高度，棉繩可能就無法吸出水到盆栽。

(5) 由這個實驗可知，我們發現可以透過吸管調整水沿著棉繩爬升的距離，控制出水量。像菜苗等需要水量多的植物，或是發現土太乾時，就把水沿著棉繩爬升的距離調短一點，增加澆花器的出水量。像仙人掌這樣用水量少的植物，或盆栽底盤滲出水時，就延長水沿著棉繩爬升的距離，減少澆花器的出水量。

(四)實驗四：棉繩的數量與出水量的關係

在研究毛細現象時，研究者多會拿不同引水介質的做實驗，結果顯示，棉繩的效果良好。不同於以往實驗，我們研究的是「棉繩數量」，希望能藉由棉繩數量的增減，控制澆花器的出水量。

1.操作方法

每個裝置的棉繩數量分別為 1 條、2 條、3 條和 4 條，模擬澆花器水份從盛水容器移動到盆栽的情形，每種各做 3 組。將棉繩一端放在 12cm 高的盛水容器（如圖 11），另一端放在燒杯，最後再量燒杯裡的水量。



圖 11. 以四種棉繩數量實驗

2.實驗結果如表 4

表 4

不同棉繩(引水介質)數量的出水量(單位：克)

棉繩數量 \ 出水量	1 條	2 條	3 條	4 條
平均每小時	0.224	0.755	1.061	1.357
平均每日	5.4	18.1	25.5	32.6
49 小時總出水量	11	37	52	66.5

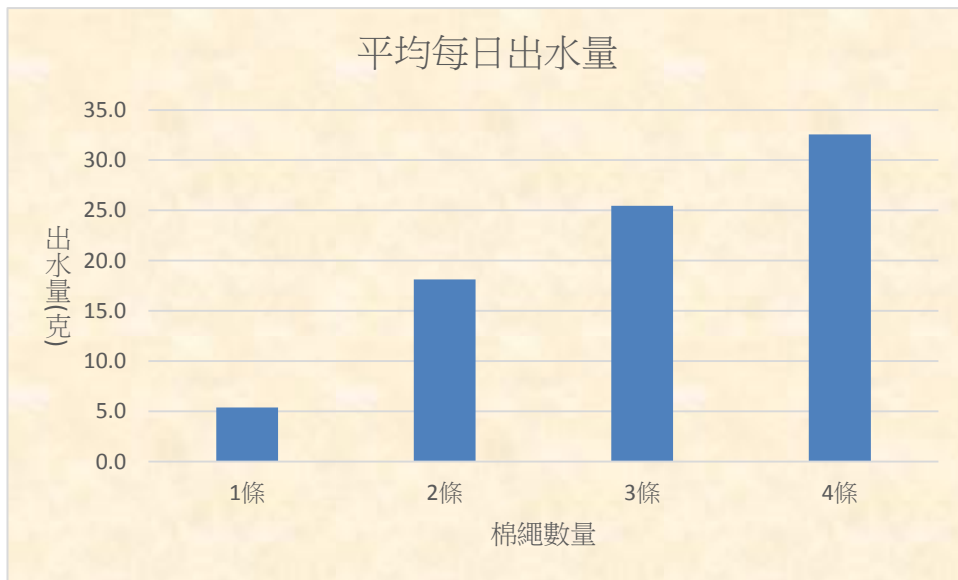


圖 12. 棉繩(引水介質)數量與出水量的關係

3. 實驗討論

(1) 一條棉繩平均每日出水量為 5.4 克，兩條棉繩 18.1 克，三條棉繩 25.2 克，四條棉繩 32.6 克。

(2) 從以上數據我們發現，棉繩數量愈多，出水量愈多，棉繩數量愈少，出水量愈少。但棉繩數量加倍，出水量並不會跟著加倍。

(3) 如果植物對水的需求量多，或者發現土太乾，可增加棉繩數量。反之，就直接抽走棉繩，以減少出水量。

(五) 實驗五：不同粗細棉繩與出水量的關係

曾有同學做關於引水介質種類與出水量關係的實驗。結果顯示，毛料和棉繩的毛細現象很明顯(43 屆假日澆花不求人一自動澆花器之原理探討及裝置建議)。在 49 屆滴水不露—節能環保自動澆花器的作品中，研究者取抗菌抹布、棉 T 恤、手提紙

袋的棉繩，比較出水量，發現棉繩的效果最好。

因為棉繩價格便宜且適合使用在本澆水器，所以我們用棉繩作為引水介質。本研究不再重複實驗引水介質的種類與出水量的關係，而是從另一角度探討，實驗不同粗細的棉繩是否影響出水量。我們以五種不同粗細的棉繩(如圖 13)做實驗。

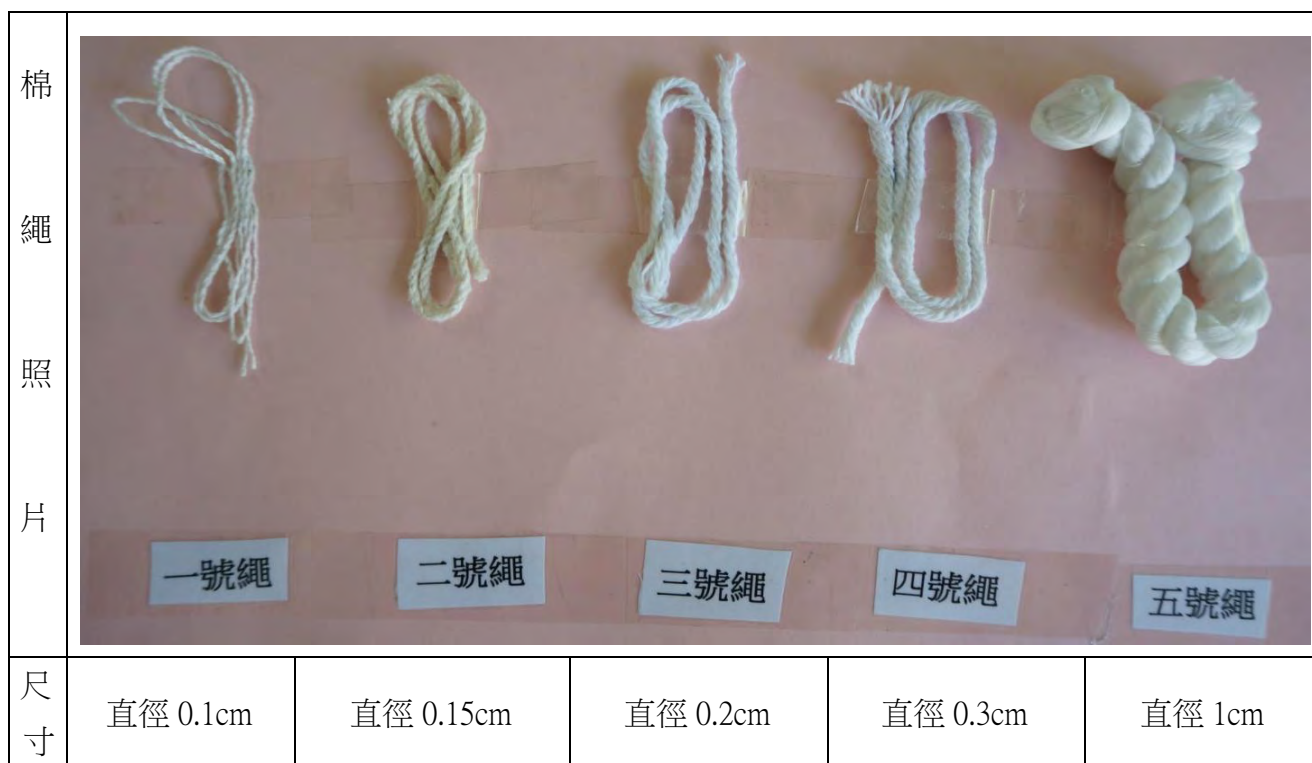


圖 13. 五種不同粗細的棉繩

1.操作方法

- (1)每種棉繩的長度都是 30cm，在棉繩的 15cm 處作記號。
- (2)塑膠盆內裝 8 公分深的水，3 條為一束，一端放在塑膠盆裡(如圖 14)，另一端放在燒杯。每種棉繩都放 3 束，最後再量燒杯裡面的水量。

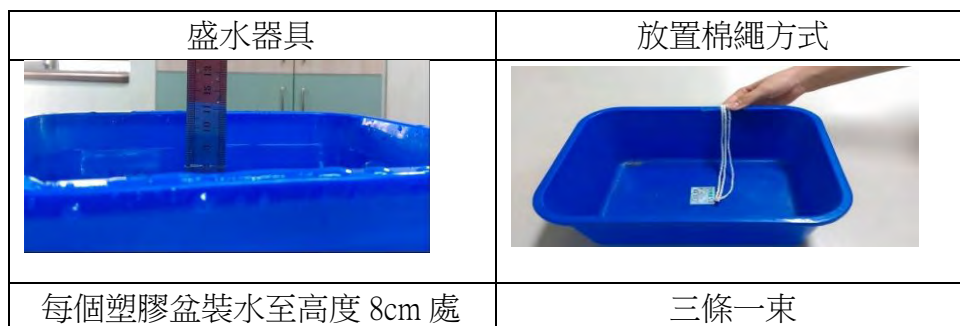


圖 14 裝置方式

2.實驗結果如表 5

表 5

五種棉繩的平均出水量(單位：克)

出水量	棉繩種類	1 號	2 號	3 號	4 號	5 號
	平均每小時		0	0.827	1.087	1.398
平均每日		0	19.8	26.1	33.5	381.2
47 小時總出水量		0	38.9	51.1	65.7	746.6

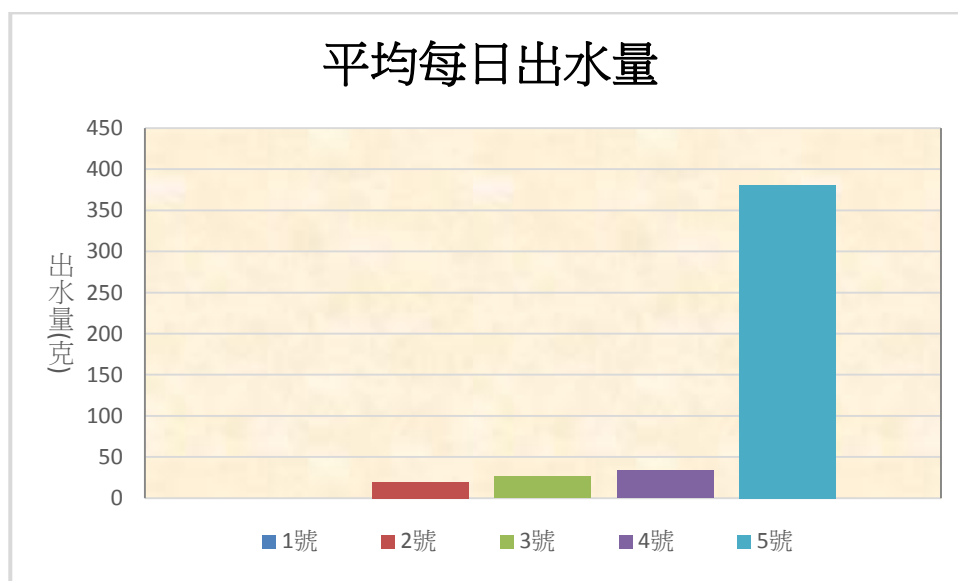


圖 15. 不同粗細的棉繩與出水量的關係圖

3. 實驗討論

- (1)以一天平均來看出水量，5 號>4 號>3 號>2 號>1 號。5 號粗繩的吸水量最多，最細的棉繩吸水最少，這和我們的預期一樣。整體來說，比較粗的棉繩出水量比較多。
- (2) 1 號棉繩都沒有吸出水量，只濕一半，我們覺得可能是因為棉繩太細，而且它的織法非常緊密，導致看毛細作用不明顯，水分子難以移動。而且很有可能水還沒進到燒杯裡，就被蒸發。
- (3)實驗當天，5 號粗繩約 12 分鐘就全濕了，每日平均出水量 381 克。它是由數百條纖細的繩子構成，2-4 繩其實也是由數條纖細的繩子構成，但是數量少很多。根據棉繩數量與出水量關係的實驗，棉繩數量愈多，毛細作用更快，出水量也愈多，所以 5 號粗繩的出水量遠大於其它種類棉繩。使用 5 號粗繩時，應該要視情況將它拆成 2-4 搓，因為它吸水效果強；若未拆解，有可能底盤會滲水。

二、澆水器裝置環境與出水量關係的實驗

澆水器內部構造與出水量關係的實驗結束後，我們想知道澆水器的裝置環境是不是也會影響出水量呢？如果會的話，那我們使用澆水器時，就要考量這些因素設計澆水器的規格。

(一)實驗六：澆水器裝置的植物種類與出水量的關係

當澆水器裝置到盆栽以後，盆栽的植物種類是否會影響澆水器的出水量呢？為了解答這個問題，我們準備三種大小差不多的植物盆栽，及空盆各 3 盆進行實驗。空盆缺乏植物的根吸水，仙人掌不需要很多水，但甜萵苣菜苗需要比較多的水，比柚子多。如果澆水器可以依不同植物給水，那麼前兩組出水量應該會很少，後兩組出水量應該會很多。研發澆水器後，我們原本以為這個澆水器能夠如此，可是做了幾次實驗後，有的同學開始認為澆水器應該是人為控制的成分比較大。

1.操作方法

每種盆栽的土都是使用 50%培養土、50%壤土混合而成。每盆的土重 650 克，供水瓶的進氣孔直徑 0.5 公分，高 5 公分，內裝 450 克的水，用 2 條棉繩，擺放地點是室外(無遮蔽)，每天中午 12 點在水位下降的位置做記號。



圖 16. 實驗的盆栽照片

2.實驗結果如表 6

表 6

澆水器擺放不同植物的出水量

出水量 \ 植物種類	無植物	仙人掌	甜萵苣	柚子
每日平均出水量	79.6	75.2	86.5	75.3
11 天總出水量	636.5	601.6	691.6	602.7

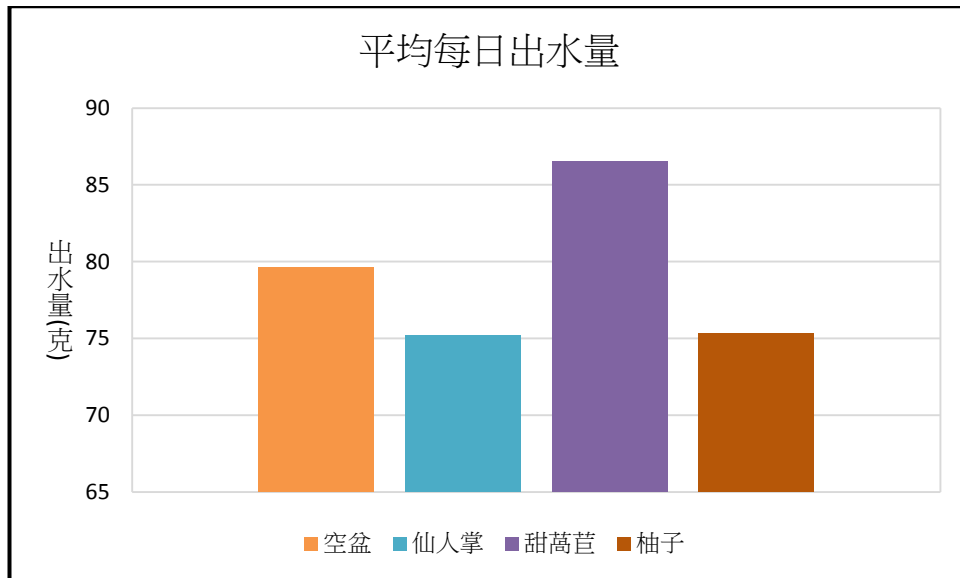


圖 17. 澆水器裝置的植物種類與出水量的關係圖

3. 實驗討論

- (1) 植物用水量的排名為：甜萵苣(86.5 克)>無植物組(79.6 克)>柚子(75.3 克)>仙人掌(75.2 克)。但差異並不大。
- (2) 這次實驗，和多數同學的預期(甜萵苣>柚子>仙人掌>無植物組)有落差。原本認為無植物組的澆水器出水量應該是最後一名，結果竟然是第二名。這可能是因為空盆的土被太陽照到的表面積比較大，水分散較快。而我們以為仙人掌用水量最少，應該和其它植物有很大的差距，但卻和柚子差不多，應該是仙人掌雖然用水量不多，但若有提供水源給它，它還是能將水儲存，以應付無水之時。
- (3) 由實驗數據，我們認為植物種類對出水量可能會有影響，但影響不大。澆水器出水量的多少主要由「人為控制」，例如供水瓶進氣孔的高低、棉繩、土壤等因素。前面兩個因素已經探討，所以下一次我們打算用土壤的種類做實驗。

(二) 實驗七：澆水器裝置的土壤種類與出水量的關係

由實驗六，我們認為土壤的種類，可能會影響澆水器的出水量，因為不一樣的土，組成的成份和縫隙不同，應該會影響毛細作用的效果。我們做了三個澆水器，規格跟上個實驗一樣，第一盆沒裝土，第二盆和第三盆分別裝入不同的土。

1. 操作方式

為了觀察水分在土壤中移動的情形，我們準備了三個透明塑膠箱，第一個裝壤

土，第二個裝混合土(培養土及壤土 1:1 混合)，第三個沒放土。兩種土壤重量差很多，所以用相同的體積(20cm*15cm*13cm)作為基準。為了觀察水分的移動，所以使用全乾的土壤，裝入土壤後各自搖動透明盆 30 下。每個裝置的棉繩數量是 4 條、長度 30 公分。裝置好澆水器後(如圖 18)，每天 10:00 在水位下降的位置做記號，持續三天。



圖 18. 澆水器裝置的土壤種類實驗

2. 實驗結果如表 7

表 7

澆水器裝置不同土壤的出水量(單位：克)

環境 時間	溫度	濕度	壤土	混合土	空盆
第一天	16	59%	101	131	72
第二天	15	71%	71	95	57
第三天	18	65%	63	80	87
平均每日出水量			78	102	72

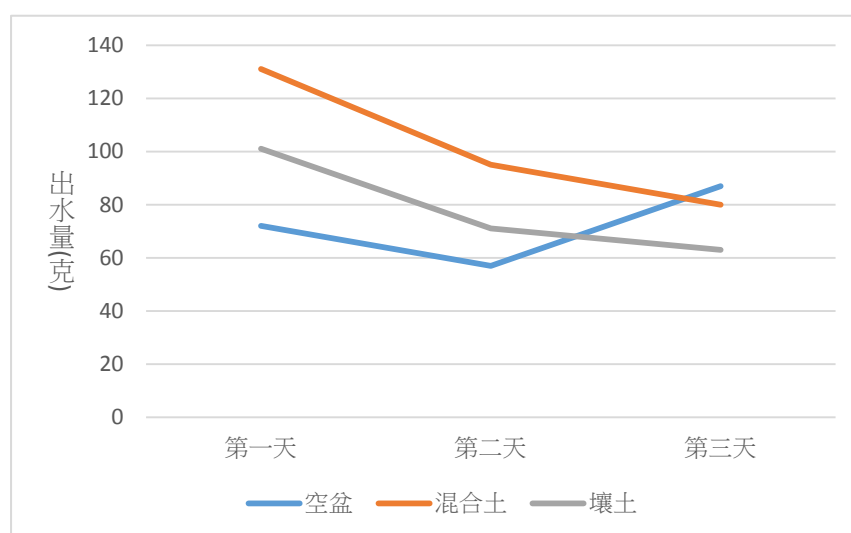


圖 19. 澆水器裝置的土壤種類與出水量的關係

3.實驗討論

- (1)沒有放置土壤的空盆所裝置的澆花器平均每日出水量為 72 克。裝有培養土及壤土混合土，平均每日出水量是 102 克。放壤土的澆花器裝置，平均每日出水量為 78 克。以平均出水量來排序，混合土最多，壤土第二，未放土的空盆最少，表示盆栽中有沒有土壤和土壤的種類都會影響澆花器的出水量。
- (2)從實驗結果看起來，將這三個裝置分為有土壤組和沒土壤組來觀察每日出水量的變化，會發現有土壤的水越出越慢，沒土壤的出水速度則沒有變慢。第三天溫度最高，沒土壤組出水量增加，土壤組則變慢。
- (3)為什麼會造成這種現象呢？我們認為，有土壤的兩盆，從土壤上方觀察到棉繩的周圍土壤濕濕的，看起來像一個半圓形，那是水分移動的範圍。棉繩的水接觸到土壤以後，多了很多空隙可以鑽，擴散到棉繩周圍的土。初期，棉繩乾得快，還沒達成飽合狀態，相對的，吸水就快。沒有土壤的那一盆，棉繩吸出水以後，沒有土壤的吸水，棉繩很快達成飽合狀態，吸水速度就變慢，所以，有土的裝置初期出水量比較多。如同抹布吸水一樣，吸水飽合就無法再吸，要有水分流失後才會再吸水。
- (4)第三天溫度升高，有土壤的棉繩因為有土壤含水，蒸發較慢，含水高吸水慢。相反的，沒有土壤的棉繩，水直接蒸發，棉繩乾得快出水就快。
- (5)混合土因為混入培養土，有大量的木屑、纖維，會產生毛細現象，助長了土壤的擴散情況，擴散快棉繩乾得快，相對的，吸水比壤土快。
- (6)由這個實驗，我們證實了土壤的類型的確會影響澆花器的出水量，同時也觀察到溫度對出水量的影響。

(三)實驗八：澆花器擺放地點與出水量的關係

澆花器擺放不同地點，我們認為也可能會因為曬到太陽的程度不同，而影響出水量，所以做這個實驗。

1.操作方法

我們去菜市場買紫蘿蔓菜苗，選擇大小差不多，都不到一克的菜苗做實驗。

地點則是以曬得到太陽的程度做為基準，分別是屋頂、網室和室內。屋頂從早到晚都曬得到太陽(如圖 20)，室內完全曬不到太陽，蝴蝶園網室介於兩者之間。澆水器進氣孔高度 5 公分，直徑 0.5 公分，供水瓶 600 毫升，內裝 450 克的水，外瓶高度 12 公分，棉繩 4 條。每天 0800 標示水位，持續三天。



圖 20. 澆水器擺放於屋頂(無遮蔽)的裝置

2. 實驗結果如表 8

表 8

澆水器擺放不同地點的出水量(單位：克)

時間	環境	溫度	溼度	室內				網室(蝴蝶園)				室外(屋頂)			
				A1	A2	A3	平均	B1	B2	B3	平均	C1	C2	C3	平均
第一天		29	80%	14	16	21	17	20	17	19	18.7	33	34	32	33
第二天		28	79%	16	21	23	20	39	28	25	30.7	65	63	41	56.3
第三天		28	82%	28	26	23	25.7	44	33	28	35	37	56	37	43.3
平均每日出水量				19.3	21	22.3	20.9	34.3	26	24	28.1	45	51	36.7	44.2
總出水量				58	63	67	62.7	103	78	72	84.3	135	153	110	132.7

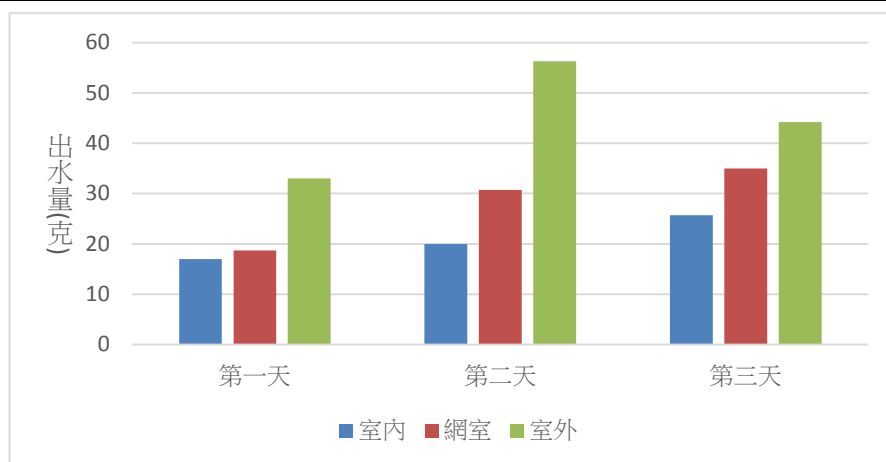


圖 21. 澆水器擺放不同地點與出水量的關係圖

3.實驗討論

- (1)澆水器平均每日的出水量，以地點來排名，擺放在室外>網室>室內。。
- (2)實驗時是晴天，室內可能因為沒有照到陽光，水分的蒸散作用(植物和土壤表面)不明顯，土壤中的水分被植物吸收的也比較少，所以出水量較少。相反的，室外高溫炎熱，不論是屋頂還是網室，出水量都大於室內。而且放在屋頂的植物完全無遮蔽，曬到太陽的程度，又比網室明顯，因此放擺放在屋頂的澆水器出水量大於網室。
- (3)使用澆水器時，要根據擺放植物的地點設計規格，同時也要考慮溫濕度、當時的季節等外在天候因素。例如，擺放在室外的盆栽，棉繩數量要多，在室內，棉繩數量較少。

三、澆水器的效能探討

(一)實驗九：比較澆水器與傳統澆水方式的用水量

做完澆水器實驗，感覺實驗應該是結束了，但我們還是想追根究柢。傳統的澆水方式是「澆到花盆滲水」為原則，很多水流到底盤，形成浪費。那如果，換成我們的澆水器，可以省多少水呢？

1.操作方式流程說明

- (1)下學期正是三年級種菜時，我們提供五個自動澆水器給一個班級種植小白菜，共準備 10 盆 650 克的培養土，其中五盆採用我們的澆水器澆水，另外五盆做為對照組，由三年級依照老師的要求，以傳統的澆水方式「澆水至花盆滲水」。
- (2)澆水器的規格是 600 毫升的供水瓶，裝水 450 克，盛水容器 12cm，進氣孔直徑 0.5 公分，高度 5cm，棉繩 40 公分 3 條，放入 11cm 的吸管。
- (3)我們觀察並測量他們每天的澆水量及流到底盤的水，共測量七天。他們每天 08:00 及 15:00 澆水，但是星期三、五上半年課，只有在 08:00 澆水一次。配合上課及澆水的時間，我們在 08:30 及 16:00 量水流到底盤的量，因為有時在 08:30 以後，還會滲水，所以 9:20 要再觀察，若有滲水的話，再量一次流到底盤的水量。

2. 實驗結果如表 9

表 9

好『繩』省水自動澆水器用水量(單位:克)

天數	編號 1	編號 2	編號 3	編號 4	編號 5	平均
七天	256	243	201	345	254	259.8

表 10

傳統澆水方式(澆水至花盆滲水)的用水量(單位:克)

水量	盆栽編號					平均
	編號 1	編號 2	編號 3	編號 4	編號 5	
總澆水量	1221	1269	868	1344	1202	1181
流到底盤的水量	839	903	603	980	920	849
流到底盤的百分比	0.69	0.71	0.69	0.73	0.76	0.72

註：105/03/06(一)14:00 種，03/07(二) 開始每天 08:00 澆水，共七天。星期六、日放假，沒有澆水。

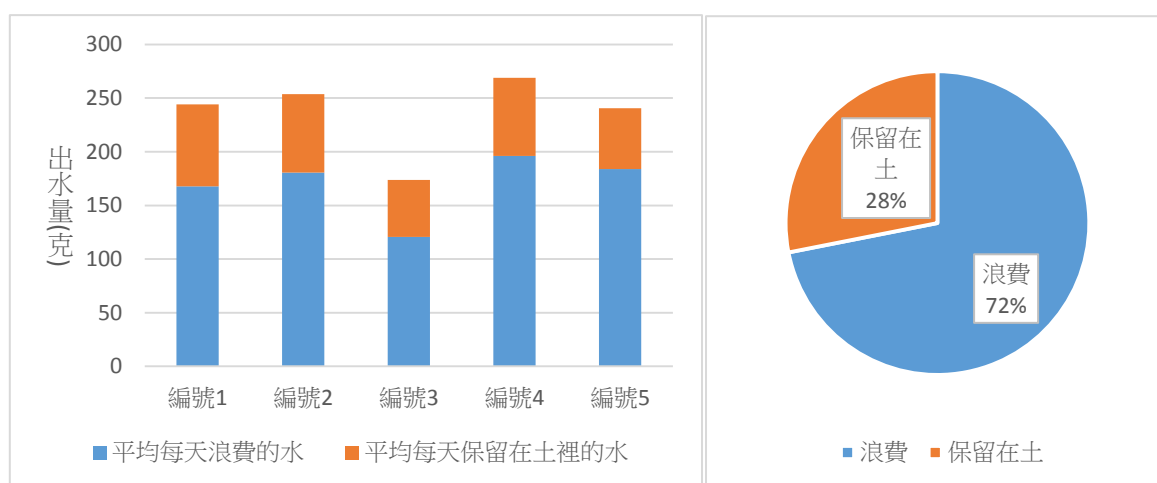


圖 22. 傳統澆水方式留在土裡與浪費的水量比較圖

3. 實驗討論

- (1) 結果發現，傳統澆水方式約 72% 以上的水都流到底盤，也就是說，事實上，只有約 28% 是留在土裡。
- (2) 我們的澆水器七天平均一盆約用 260 克的水，傳統「澆水至花盆滲水」的方式用了 1181 克，約比傳統方式節省 78% 的水。

(二)實驗十：種菜實際驗證

1. 操作方式

我們以 10 株小白菜菜苗，高度約 5 公分，實際用好繩省水自動澆水器種植，證明它的效能。盆栽體積(59cm*18cm*17cm)，內裝有機肥料土、培養土和壤土，以 1：1：1 混合。用以 2200 毫升的寶特瓶當供水瓶、12 公分高盛水容器及 5 號棉繩組成澆水器 2 組。為方便調整，我們利用有洞隔板，墊高供水瓶提升水位高度，代替鑽進氣孔，將澆水器放在空心磚上，使盛水容器開口和盆栽等高(如圖 23)。



圖 23. 依植物需要調整澆水器規格

2. 實驗結果如圖 24



圖 24. 種菜實際驗證成果

3.實驗討論

- (1)首先，我們評估菜苗需要較多的出水量，於是依據所提出控制水量的方法，調整棉繩及水位高度。經五天觀察物生長狀況及土壤的濕潤程度，不斷調整，使用 1/2 條 5 號粗繩分散配置，同時以 5 塊隔板將供水瓶墊高，提升盛水容器水位 6cm，使水沿棉繩爬升 6cm，可使土壤充分潤濕起無餘水外流，為最適合的規格。
- (2)在這個實驗，我們利用**隔板有洞的特性**，調整盛水容器的水位。增加隔板數量，可以讓盛水容器的水位提升，反之，則減少隔板數量。它的操作更方便，直接增加或減少隔板，就能達到控制出水量的效果。
- (3)每 5 天在兩個供水瓶上各加 2200 毫升的水，經過一個月 2 個星期的種植，輕輕鬆鬆成功的種植出綠意盎然的小白菜，證明它是一個值得推廣應用的綠能產品。

陸、綜合討論與建議

一、用創新方法達到自動澆灌的效果

我們所研發的澆水器，不僅適合運用於假日無法在家澆水時，更是忙碌現代人平常可以用來栽種的好幫手。以往的科展作品曾發表定時定量的澆水器，它們雖有優點，但水很快流到土裡，又滲出底盤，並沒有解決浪費水(如水滲到底盤、用太多水)，及積水容器產生孳子的問題。而滴灌式的管子容易阻塞，也影響出水。我們的作品跳脫定時定量澆灌的思考模式，突破傳統單純用棉繩吸水到盆栽，而是以**創新的方法控制水量，讓水穩定緩慢移動到土裡，達到自動澆灌的效果，供給植物生長。**

二、比傳統「澆到花盆滲水」的方式節省 78%的水

以傳統的「澆到花盆滲水」方式測試，超過一半的水被浪費掉，留在土裡的水不到澆水量的一半。反觀澆水器的水，不但全部留在土裡，比傳統澆水方式節省 78%。種植一星期，傳統的「澆到花盆滲水」方式用了 1181 克的水，澆水器 260 克。全國三年級都會種菜，以種 20000 盆 8 個星期計算，使用好『繩』自動澆水器可以省 110520 公升(約 11 萬公升)的水。每人每天用水 250 公升，這些水量足夠提供 1 個人 442 天的用水量。

若加上應用到其它盆栽，所省下的水更為可觀。

三、不用電力，就可以控制澆花器的出水量

不需要用到電或太陽能，利用澆花器盛水容器的水位高低及棉繩，就能控制出水量。盛水容器的水位設定在高的位置、減少水沿著棉繩爬升的距離、增加棉繩數量、使用 5 號粗繩，都能增加出水量。盛水容器的水位設定在低的位置、增加水沿著棉繩爬升的距離、減少棉繩數量，則能降低出水量。

四、製作容易

製作澆花器時，將當作供水瓶的寶特瓶鑽進氣孔，另一個寶特瓶用小刀或剪刀切割適合的高度當作盛水容器。若使用有洞的隔板，就不需在供水瓶上鑽進氣孔。接著，剪所需要的棉繩及吸管長度，最後加以組裝好。希望增加澆花器澆灌的天數，可以找大容量寶特瓶，而盛水容器也可以利用能搭配供水瓶的容器替代。製作過程非常簡單，連三年級的小朋友都有辦法完成。

五、具有環保精神

除了棉繩外，澆花器使用的材料是可回收的兩個寶特瓶及吸管，而且不會有積水而產生孳生的問題。加上本身省水節能的優點，具有環保精神。

六、使用澆花器的注意事項

(一)製作澆花器要注意：

製作供水瓶的寶特瓶必須略小於盛水容器，才不會造成供水瓶和盛水容器之間卡得太緊，空氣跑不進去，導致澆花器無法出水，但兩個寶特瓶的大小，也不能差太大，以免蚊子飛入產卵。

(二)種植時要注意：

開始種植時，先要根據植物需求的水量，考慮盆栽大小、擺放地點等，設計澆花器規格。不同的條件，澆花器的規格就不同。當澆花器規格設計好後，使用者必須試種。試種時，可以從「盆栽是否滲水」及「土壤的乾濕」判斷是否需要調整水量。若不適合，則依本研究兩大結論調整水量：1.盛水容器水位高，水沿棉繩爬升距離短，出水就大；反之，出水就小。2.棉繩數量多，出水就多；數量少，出水就少。一旦找到合適的規格，就可以在固定時間取出供水瓶加水，輕鬆享受種植樂趣。

柒、結論

由實驗一到五，我們成功的找出，利用大自然的毛細現象、大氣壓力及重力的交互作用，藉由澆水器盛水容器水位高低的調整，棉繩數量粗細的選用，不須用電就可輕易的控制澆水器出水量；實驗六至八，驗證了土壤及擺放地點會影響澆水器出水量；實驗九更證實了，我們設計的澆水器確實省水。最後，我們依據上述的實驗結果，適當的調整盛水容器水位高度及棉繩數量，控制澆水器的出水量，結果輕易種出綠油油的鮮嫩蔬菜。在這次研究中，我們做到了「利用回收的寶特瓶，輕鬆的製造出環保省水節能，不須用電就可控制出水量，神奇好用的『好神』！省水自動澆水器」。

捌、參考資料

- 一、全國科展第 43 屆作品：假日澆花不求人—自動澆水器之原理探討及裝置建議
- 二、全國科展第 48 屆作品：「澆」豔欲「滴」—簡易自動澆水器
- 三、全國科展第 49 屆作品：「滴水不漏—節能環保自動澆水器」
- 四、全國科展第 55 屆作品：源源不絕，「蔬」活自在—蔬菜自動澆水器
- 五、自然課本四年級下學期康軒版：水的流動

附錄

實驗 3 紀錄

水沿著棉繩不同的爬升高度平均每小時所吸出的水量(單位:克)

時間	環境	溫度	濕度	水沿著棉繩爬升 3cm			平均	水沿著棉繩爬升 6cm			平均
				A1	A2	A3		B1	B2	B3	
前一天 17:30~ 第一天 08:00		21	66%	0.710	0.566	1.428	0.901	0.083	0.041	0.048	0.057
第一天 08:00- 第一天 12:00		21	65%	1.200	0.950	1.550	1.233	0.100	0.125	0.075	0.100
第一天 12:00- 第一天 16:00		24	62%	1.175	1.000	1.475	1.217	0.200	0.250	0.225	0.225
第一天 16:00- 第二天 08:00		18	63%	1.025	0.738	1.113	0.958	0.069	0.113	0.056	0.079
第二天 08:00- 第二天 12:00		18	62%	1.075	0.600	1.075	0.917	0.075	0.025	0.025	0.042
第二天 12:00- 第二天 16:00		20	61%	0.925	0.575	0.900	0.800	0.100	0.050	0.025	0.058

註：因水沿著棉繩爬升高度為 9cm 及 12cm 的出水量為 0，因此不列入表中。

實驗 4 紀錄

不同棉繩(引水介質)數量平均每小時所吸出的水量(單位：克)

時間	環境	溫度	濕度	棉繩數量			
				一條	二條	三條	四條
前一天 15:00-第一天 08:00		24	77	0.206	0.765	1.059	1.471
第一天 08:00-第一天 12:00		25	77	0.25	0.975	1.175	2.275
第一天 12:00-第一天 16:00		29	60	0.275	0.875	1.125	1.45
第一天 16:00-第二天 08:00		23	72	0.219	0.688	1	1.081
第二天 08:00-第二天 12:00		22	72	0.275	0.775	1.125	1.3
第二天 12:00-第二天 16:00		25	71	0.225	0.675	0.9	1

實驗 5 紀錄

不同粗細的棉繩平均每小時所吸出的水量(單位：克)

日期	溫度	濕度	棉繩種類				
			1 號	2 號	3 號	4 號	5 號
前一天 17:00-第一天 08:00	22	76	0	0.513	0.496	0.067	12.131
第一天 08:00-第一天 12:00	23	75	0	0.825	1.108	0.442	38.442
第一天 12:00-第一天 16:00	25	70	0	1.033	1.433	1.642	32.950
第一天 16:00-第二天 08:00	22	76	0	0.969	1.413	2.108	6.433
第二天 08:00-第二天 12:00	24	72	0	1.025	1.325	2.667	22.333
第二天 12:00-第二天 16:00	26	67	0	0.908	1.267	2.975	18.658

實驗 6 紀錄

澆水器擺放不同植物平均每日所吸出的水量

出水量 \ 植物種類	溫度	溼度	無植物	仙人掌	甜萵苣	柚子
2017/01/22(日)1200	19	65%	68.8	64	101.1	63.7
2017/01/23(一)1200	22	62%	59.6	62.9	82.6	60.6
2017/01/24(二)1200	20	63%	62.9	60.9	120	60
2017/01/25(三)1200	20	65%	62.8	57.4	64.9	58.8
2017/01/26(四)1200	19	67%	69.4	58	51.4	60.4
2017/01/27(五)1200	20	66%	56.2	49.8	44.5	69.8
2017/01/30(一)1200	22	66%	135.1	119.4	114.7	122.3
2017/02/1(三)1200	22	70%	121.6	129.2	112.4	107

註：01/28-01/31 為過年期間，01/28、01/29、01/31 三天未到校做記號。

【評語】 080822

本研究巧妙地利用毛細現象、大氣壓力及重力的交互作用，藉由澆水器盛水容器水位高低的調整，棉繩數量粗細的選用，不須用電就可輕易的控制澆水器出水量，完成創新的省水環保自動澆水器。歷屆科展作品已有類似的主題，作者能提出與先前作品的差異，雖然原理和構想相似，本件作品有較多定量的測量項目，在設計上也有所改良，因而凸顯本作品的創新與特殊處，值得鼓勵。

作品海報

摘要

好「繩」省水自動澆水器，是一個全新的澆水器設計，與傳統的人工澆水、自動噴水及滴灌系統完全不同，沒有人工及噴水澆花時，水資源到處溢流的浪費，更不會有滴灌式滴水孔經常堵塞，無法出水的問題。

本澆水器架構簡單，只需回收的兩個寶特瓶及棉繩，再加吸管，即可完成，操作方法容易。它利用大氣壓力、毛細現象及重力原理，由棉繩緩慢吸水到土裡。省水、節能、自動供水是澆水器的三大優點。

經過測試，它比傳統的澆水方式約節省 78% 的水。此外，不需要電，利用盛水容器水位的高低、水沿著棉繩爬升的距離、棉繩數量、種類，就能精準調整控制出水量，有效提供植物生長所需用水。它適用範圍大，不管室內還是室外，大部分盆栽都可搭配使用。

壹、研究動機

澆花時，大家是否注意到，有很多水流到地上或是底盤呢？澆水這件事看起來稀鬆平常，但我們在不知不覺中，浪費多少珍貴的水資源！從三年級種菜的經驗中，我們觀察到，同學澆花的水，有一大半是流到地上或底盤，形成浪費，也可能有孳滋生的問題。有人澆太多水，也有人澆太少水，有人甚至玩到忘記澆水，導致蔬菜無法順利成長。為了解決問題，我們決定設計出一款省水節能、製作容易的澆水器。

貳、研究目的

- 一、設計省水節能、製作容易的自動澆水器。
- 二、探討澆水器內部構造與出水量的關係。
- 三、探討澆水器裝置環境與出水量的關係。

參、研究設備及器材

- 一、600 毫升、1830 毫升、2200 毫升的寶特瓶、5 種不同粗細的棉繩、吸管、隔板
- 二、花盆、培養土、壤土、有機肥料土、仙人掌盆栽、柚子盆栽、甜萵苣盆栽、紫蘿蔓盆栽、鏟子
- 三、滴管、漏斗、塑膠盆、透明塑膠箱、燒杯、電子秤
- 四、鐵絲、尖嘴鉗、螺絲起子、鑽子、小刀、剪刀、皮尺、鐵尺、酒精燈
- 五、數位相機、攝影機

肆、研究方法

一、製作澆水器

(一) 製作澆水器

好「繩」省水自動澆水器是由供水瓶、盛水容器、棉繩及吸管所組成，組裝好後如圖 1：

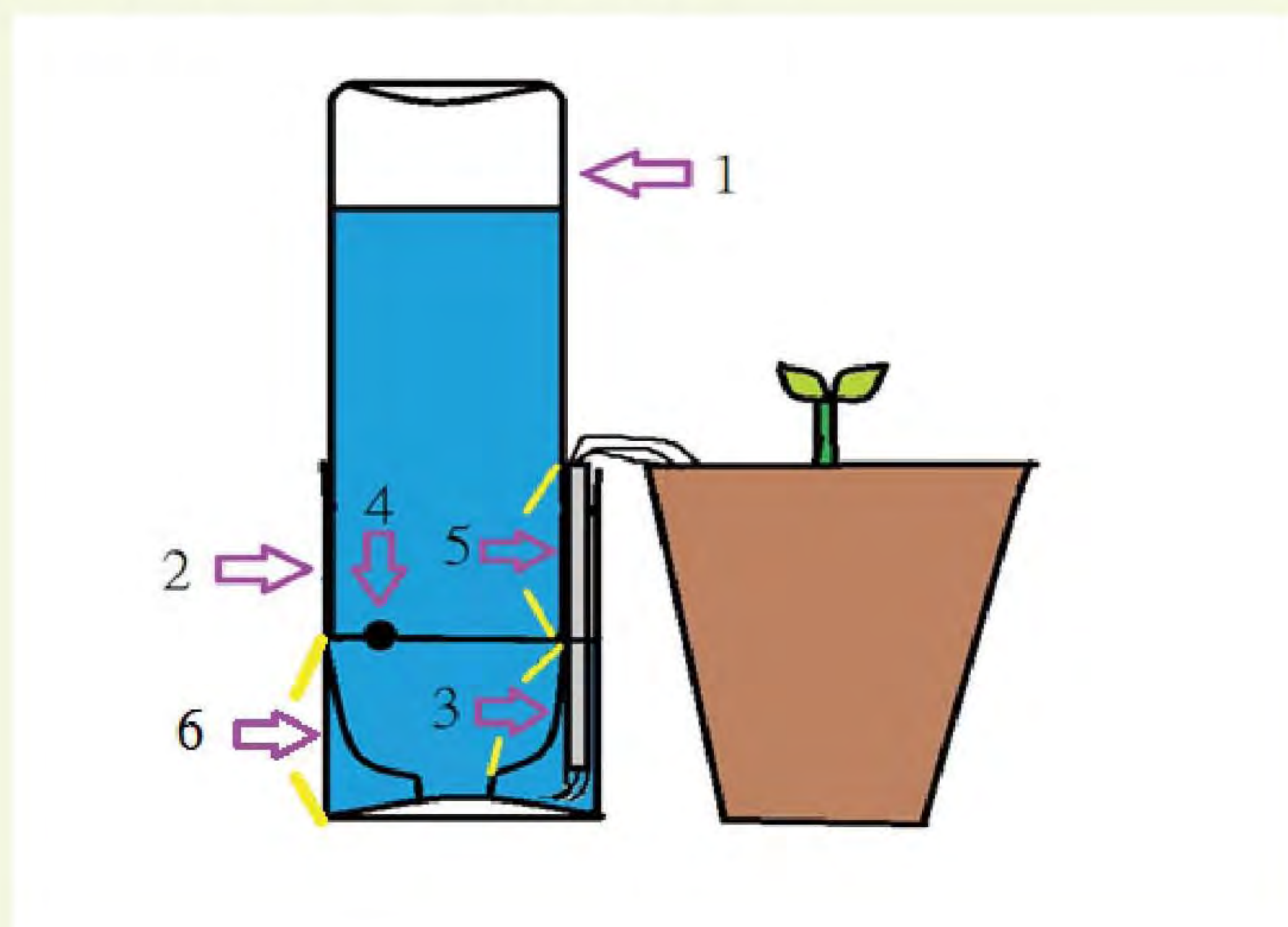


圖 1

1-6 所指的名詞如下：

1. 供水瓶 2. 盛水容器 3. 進氣孔高度 4. 進氣孔直徑
5. 水沿著棉繩爬升的距離 6. 盛水容器的水位

(二) 製作澆水器的方法

製作過程如下：



1. 準備兩個寶特瓶，其中一個瓶身直徑稍小一點。
2. 稍小的寶特瓶作為供水瓶，在瓶身鑽進氣孔、裝水。
3. 稍大的寶特瓶割一半，作為盛水容器，放置棉繩、吸管。
4. 棉繩套入吸管，放入盛水容器。
5. 將 4 倒放在供水瓶上。
6. 將 5 整個裝置倒過來，再把棉繩埋進土裡即可。

二、供水原理

(一) 大氣壓力

當裝水的「供水瓶」倒放在「盛水容器」瞬間，空氣快速的從供水瓶的進氣孔跑進供水瓶裡（如圖 2）。供水瓶裡的壓力失衡，使水從瓶口流到盛水容器，一直流到供水瓶進氣孔高度這地方，堵住進氣孔，也就是供水瓶內部壓力與大氣壓力相等，供水瓶立刻停止出水到盛水容器。當水被棉繩吸至土裡後，盛水容器水位下降，壓力失衡，空氣又會從供水瓶上的進氣孔跑進去，水從供水瓶瓶口流入盛水容器，盛水容器水位增高，堵住進氣孔，供水瓶內部壓力與大氣壓力相等，供水瓶停止供水，如此週而復始，緩慢提供植物所需要的水。

(二) 毛細現象

當供水瓶的水流到盛水容器後，在毛細現象作用下（如圖 4），水克服地心引力，沿著棉繩往上爬升，流至盆栽，並逐漸擴散到土裡。

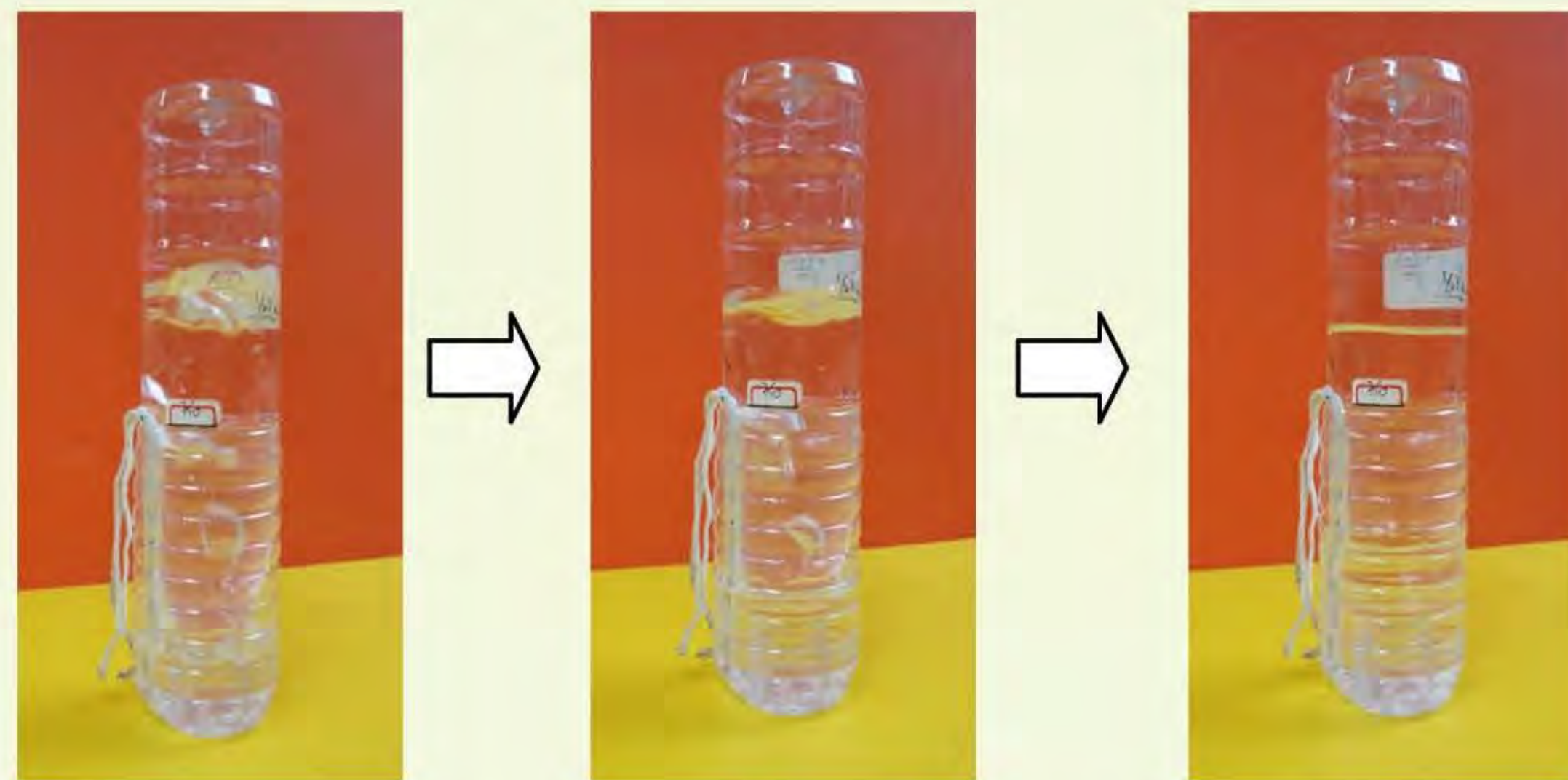


圖 2. 空氣快速的從供水瓶的進氣孔跑進供水瓶裡



圖 3. 供水瓶的水會流到盛水容器，直到供水瓶進氣孔高度這地方。



圖 4. 在毛細作用下，使原本白色的棉繩慢慢變成紅色。

伍、研究過程與結果

一、澆水器內部構造與出水量關係的實驗

(一) 實驗一：澆水器供水瓶進氣孔的位置高低與出水量的關係

表 1 澆水器供水瓶進氣孔不同的位置高低所吸出的水量 (單位: 克)

出水量	環境	溫度	濕度	進氣孔高度 2cm				進氣孔高度 5cm				進氣孔高度 8cm			
				A1	A2	A3	平均	B1	B2	B3	平均	C1	C2	C3	平均
第一天		29	79%	1	2	3	2	13	11	9	11	162	124	159	148
第二天		28	81%	1	2	3	2	12	9	6	9	69	41	86	65
第三天		27	79%	2	2	3	2	13	9	6	9	56	53	43	51
平均每天出水量				1.3	2.0	3.0	2.1	12.7	9.7	7.0	9.8	95.7	72.7	96.0	88.1

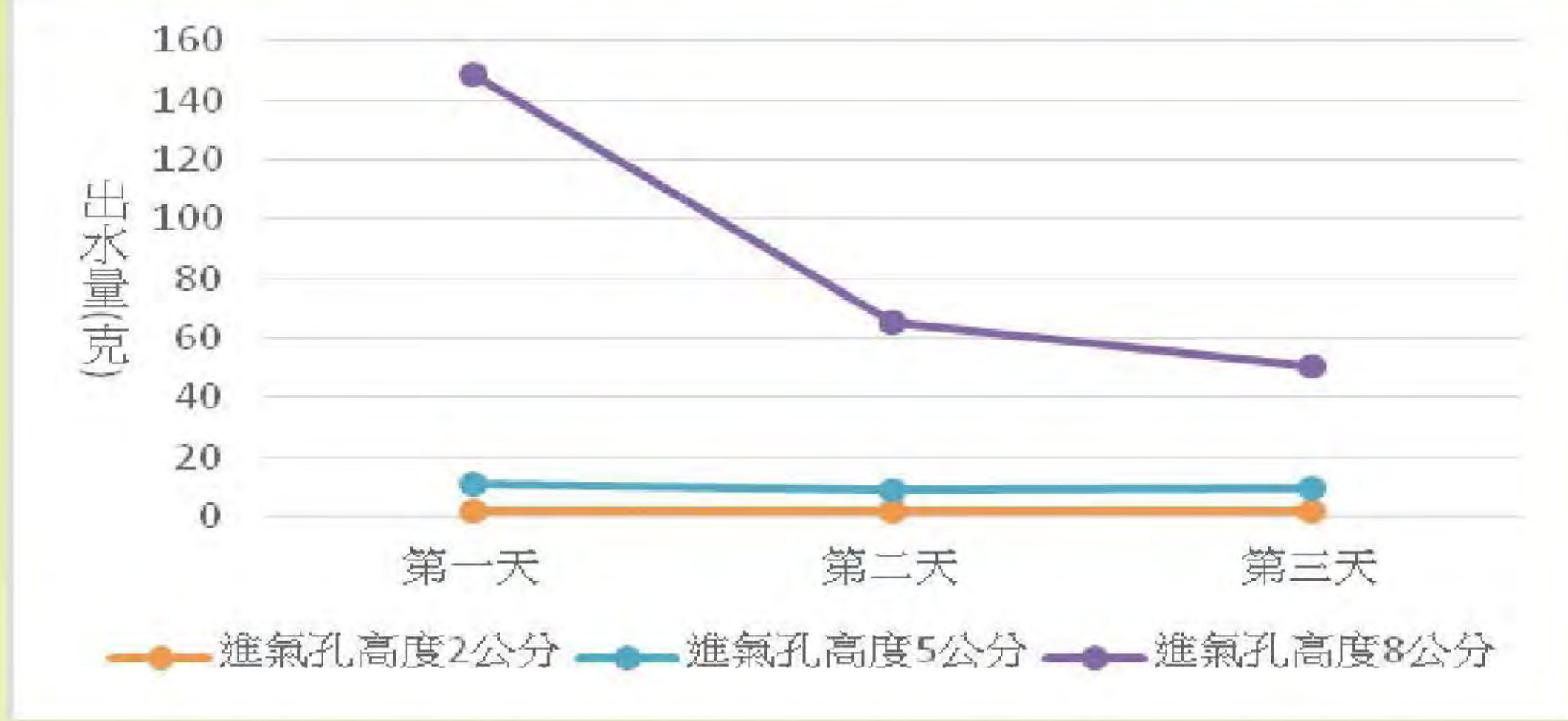


圖 5. 澆水器供水瓶進氣孔的位置高低與出水量的關係圖

實驗結果如圖 5，供水瓶的進氣孔高度，決定盛水容器的水位，進而影響澆水器出水量。進氣孔位置高，水位高，出水量多；進氣孔位置低，水位低，出水量少，這是毛細現象與重力交互作用所造成的結果。

(二) 實驗二：澆水器供水瓶進氣孔的大小與出水量的關係

表 2. 澆水器供水瓶不同進氣孔大小的出水量 (單位: 克)

時間	環境	溫度	濕度	進氣孔直徑 0.3cm				進氣孔直徑 0.5cm				進氣孔直徑 1cm			
				A1	A2	A3	平均	B1	B2	B3	平均	C1	C2	C3	平均
第一天		29	79%	23	16	20	19.7	25	23	21	23	25	18	16	19.7
第二天		28	81%	24	19	25	22.7	24	26	29	26.3	13	26	25	21.3
第三天		27	78%	24	17	28	23	29	30	28	29	16	28	24	22.7
平均每天出水量				23.7	17.3	24.3	21.8	26	26.3	26	26.1	18	24	21.7	21.2

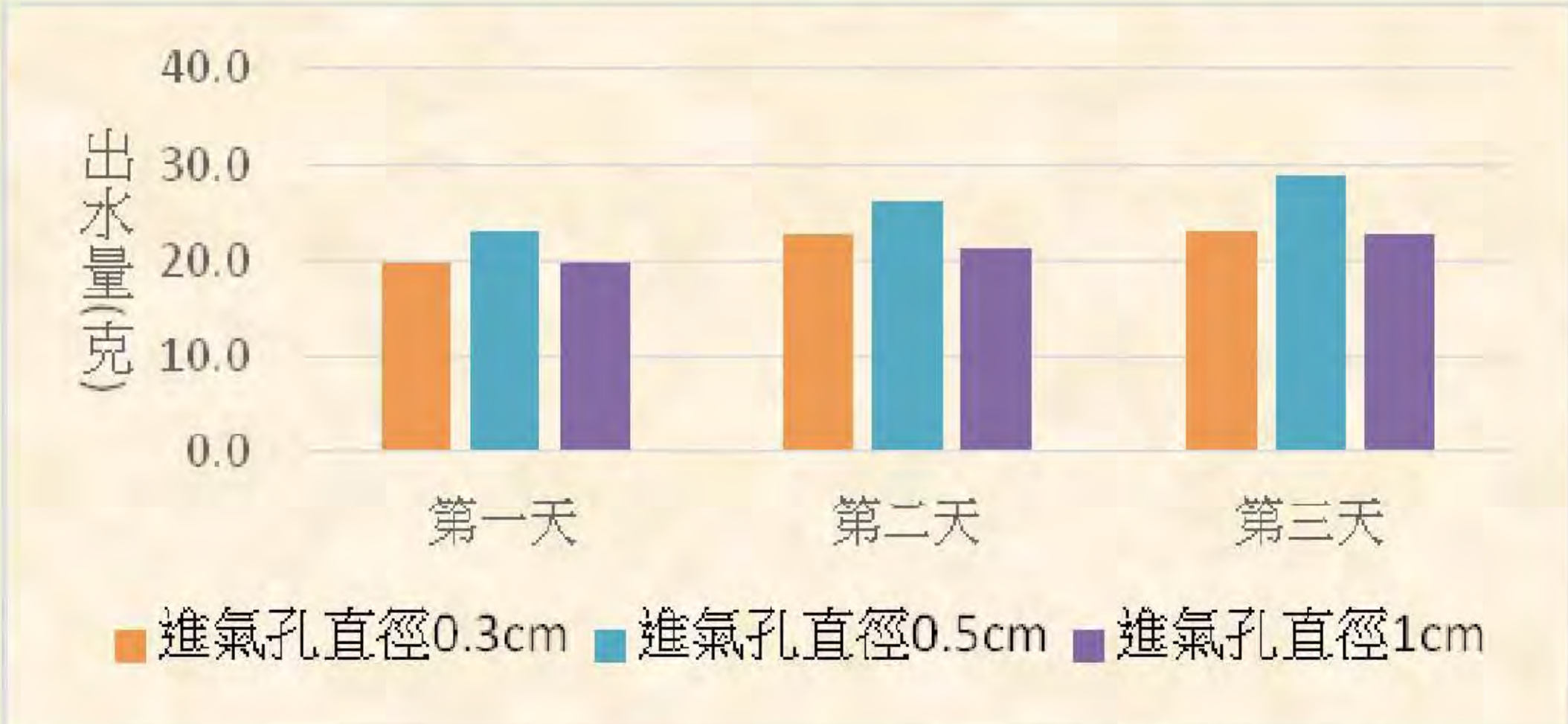


圖 6. 澆水器供水瓶進氣孔大小與出水量的關係圖

實驗結果如圖 6，進氣孔大小對澆水器的出水量無明顯的影響，因盛水容器的水位都在同樣的高度。

(三) 實驗三：水沿著棉繩爬升的距離與出水量的關係

表 3 水沿著棉繩不同爬升距離的出水量 (單位: 克)

水爬升的距離	出水量	3cm				6cm			
		A1	A2	A3	平均	B1	B2	B3	平均
平均每小時		0.951	0.699	1.258	0.970	0.090	0.090	0.065	0.082
平均每日		22.8	16.8	30.2	23.3	2.2	2.2	1.5	2.0
46.5 小時總出水量		44.2	32.5	58.5	45.1	4.2	4.2	3	3.8

註：因水沿著棉繩爬升距離為 9cm 及 12cm 的出水量為 0，因此不列入表中。



圖 7. 水沿著棉繩 (引水介質) 爬升的距離與出水量的關係圖

實驗結果如圖 7，水沿著棉繩爬升的距離愈短，出水量愈多；水沿著棉繩爬升的距離愈長，出水量愈少。

(四) 實驗四：棉繩的數量與出水量的關係

表 4 不同棉繩 (引水介質) 數量的出水量 (單位: 克)

出水量	棉繩數量	1 條	2 條	3 條	4 條
平均每小時		0.224	0.755	1.061	1.357
平均每日		5.4	18.1	25.5	32.6
49 小時總出水量		11	37	52	66.5

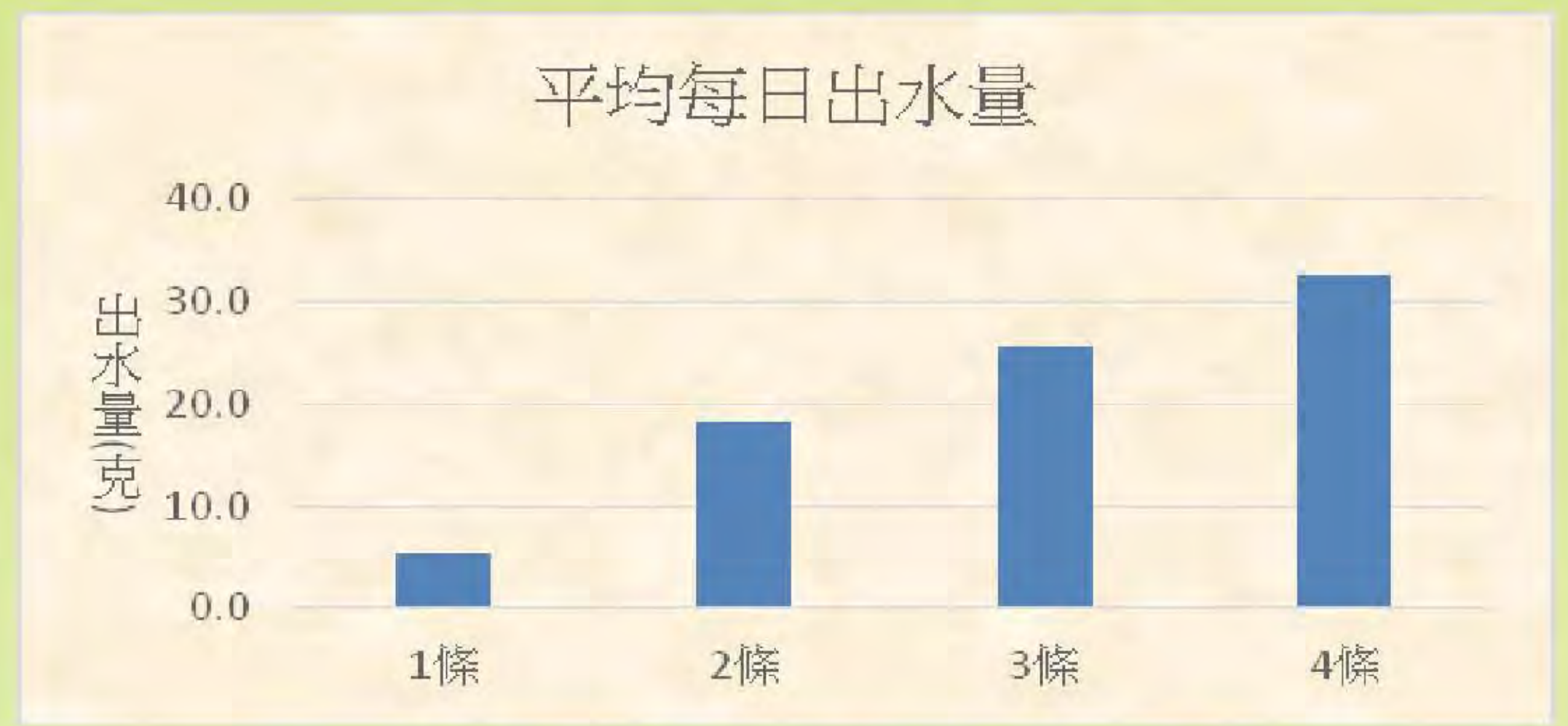


圖 8. 棉繩 (引水介質) 數量與出水量的關係

實驗結果如圖 8，棉繩數量愈多，出水量愈多；棉繩數量愈少，出水量愈少。但棉繩數量加倍，出水量並不會跟著加倍。

(五) 實驗五：不同粗細的棉繩與出水量的關係

以五種不同粗細的棉繩 (如圖 9) 做實驗。

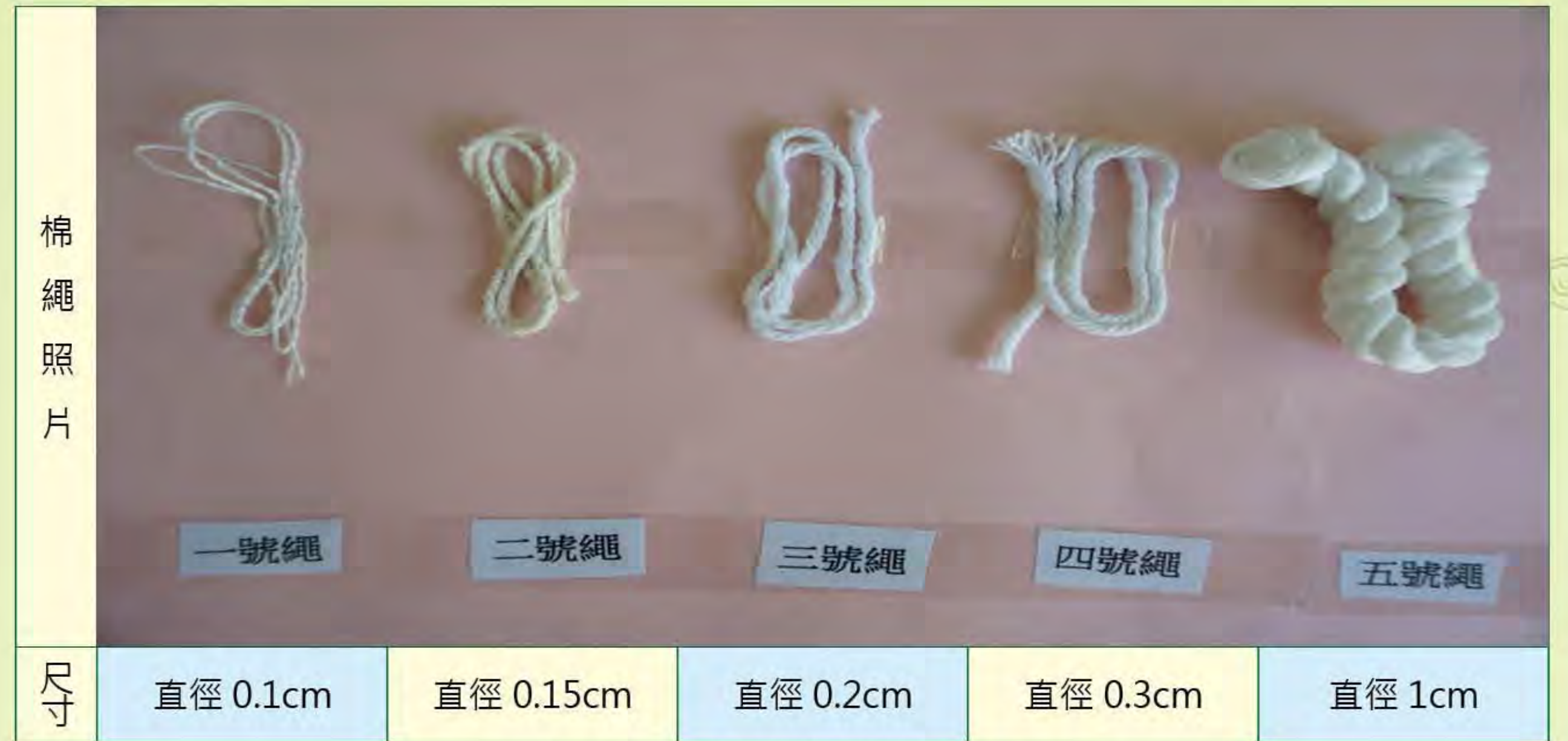


圖 9. 五種不同粗細的棉繩

表 5 不同粗細棉繩的平均出水量 (單位: g)

棉繩編號	1 號	2 號	3 號	4 號	5 號
平均每小時	0	0.827	1.087	1.398	15.884
平均每日	0	19.8	26.1	33.5	381.2
47 小時總出水量	0	38.9	51.1	65.7	746.6



圖 10. 不同粗細的棉繩與出水量的關係圖

實驗結果如圖 10，5 號 > 4 號 > 3 號 > 2 號 > 1 號。5 號粗繩的出水量最多，最細的 1 號棉繩出水量最少。

二、澆水器裝置環境與出水量關係的實驗

(一) 實驗六：澆水器裝置的植物種類與出水量的關係

以空盆、仙人掌、甜萵苣及柚子等三種植物做實驗。



圖 11. 實驗的盆栽照片

表 6 澆水器擺放不同植物的出水量

植物種類	無植物	仙人掌	甜萵苣	柚子
每日平均出水量	79.6	75.2	86.5	75.3
11 天總出水量	636.5	601.6	691.6	602.7



圖 12. 澆水器裝置的植物種類與出水量的關係圖

實驗結果如圖 12，植物的種類對出水量可能會有影響，但影響不大。

(二) 實驗七：澆水器裝置的土壤種類與出水量的關係

表 7 澆水器裝置不同土壤的出水量 (單位：克)

時間	環境	溫度	濕度	空盆	混合土	壤土
第一天		16	59%	72	131	101
第二天		15	71%	57	95	71
第三天		18	65%	87	80	63
平均每日出水量				72	102	78

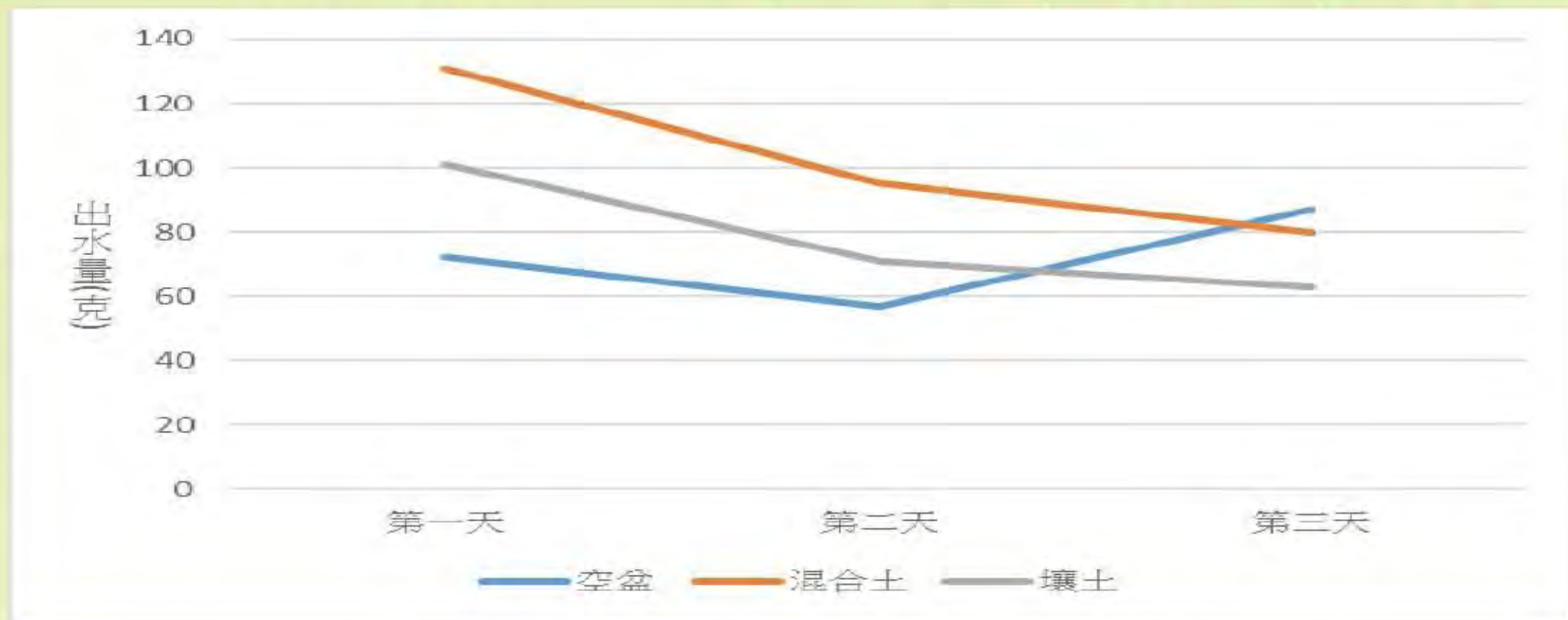


圖 13. 澆水器裝置的土壤種類與出水量的關係

實驗結果如圖 13，裝有混合土的澆水器出水量最多，壤土第二，未放土的空盆最少，這表示盆栽中有沒有土壤和土壤的種類都會影響澆水器的出水量。

(三) 實驗八：澆水器擺放地點與出水量的關係

表 8 澆水器擺放不同地點的出水量 (單位：克)

時間	環境	溫度	濕度	室內				網室 (蝴蝶園)				室外 (屋頂)			
				A1	A2	A3	平均	B1	B2	B3	平均	C1	C2	C3	平均
第一天		29	80%	14	16	21	17	20	17	19	18.7	33	34	32	33
第二天		28	79%	16	21	23	20	39	28	25	30.7	65	63	41	56.3
第三天		28	82%	28	26	23	25.7	44	33	28	35	37	56	37	43.3
平均每日出水量				19.3	21	22.3	20.9	34.3	26	24	28.1	45	51	36.7	44.2
總出水量				58	63	67	62.7	103	78	72	84.3	135	153	110	132.7

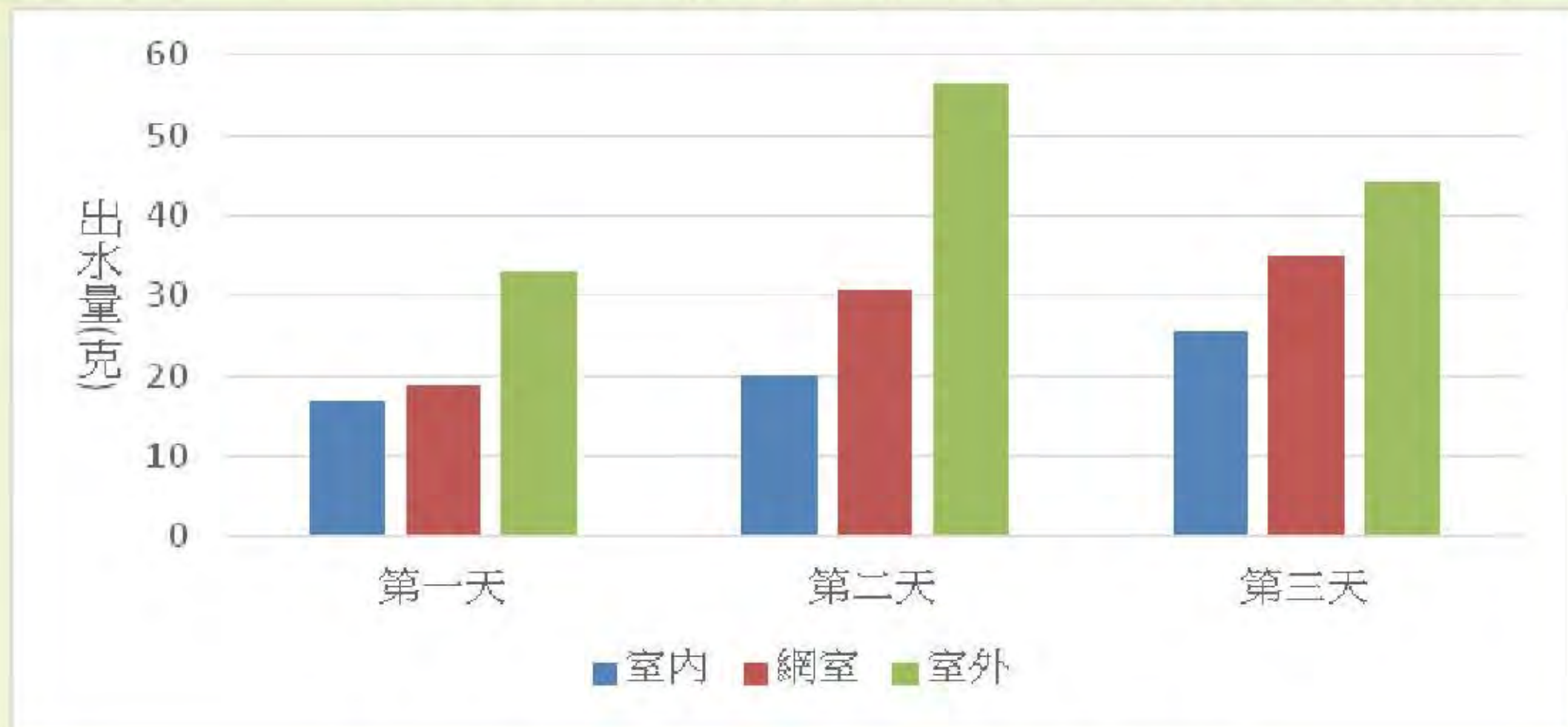


圖 14. 澆水器擺放不同地點與出水量的關係圖

實驗結果如圖 14，以地點來排名澆水器平均每日的出水量，擺放在室外 > 網室 > 室內。放在室外的植物，水分的蒸散作用快，因此擺放在室外的澆水器出水量最多。

三、澆水器效能的探討

(一) 實驗九：比較澆水器與傳統澆水方式的用水量

我們提供自動澆水器給一個班級種植小白菜，準備 10 盆秤有 650 克的培養土，其中五盆以傳統的澆水方式「澆水至花盆滲水」，另外五盆採用我們的澆水器澆水。澆水器的規格是 600 毫升容量的寶特瓶當供水瓶，裝水 450 克，盛水容器高 12cm，進氣孔高度 5cm，直徑 0.5 公分。由我們觀察並測量他們每天的澆水量及流到底盤的水，共測量七天。

表 9 傳統澆水方式 (澆水至花盆滲水) 的用水量 (單位：g)

水量	盆栽編號	1	2	3	4	5	平均
總澆水量		1221	1269	868	1344	1202	1181
流到底盤的水量		839	903	603	980	920	849
流到底盤的百分比		0.69	0.71	0.69	0.73	0.76	0.72
保留在土的百分比		0.31	0.29	0.31	0.27	0.24	0.28

表 10 好「繩」省水自動澆水器的用水量 (單位：g)

編號	1	2	3	4	5	平均
七天	256	243	201	345	254	259.8

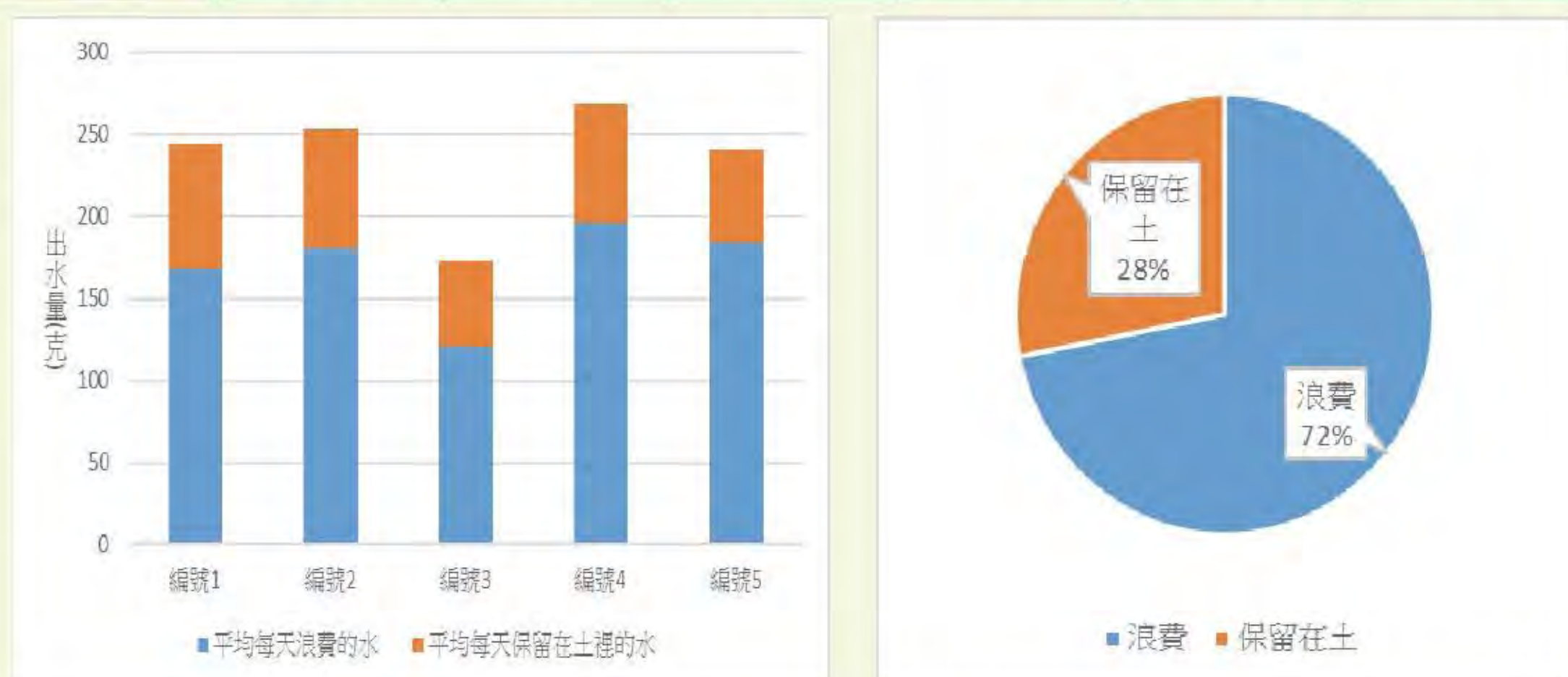


圖 15. 傳統澆水方式留在土裡與浪費的水量比較圖

實驗結果如圖 15，好「繩」省水自動澆水器的用水量比傳統澆水方式節省 78%。傳統澆水方式不但用水量較多，而且有一半以上的水流到底盤。

(二) 實驗十：種菜實際應用與驗證

我們以 10 株小白菜菜苗，高度約 5 公分，實際應

用好繩省水自動澆水器種植，證明它的效能。盆栽體積 (59cm*18cm*17cm)，內裝有機肥料土、培養土和壤土，以 1:1:1 混合。用 2200 毫升的寶特瓶當供水瓶、12 公分高的盛水容器及 5 號粗繩組成澆水器 2 組。為方便調整，我們利用有洞隔板，墊高供水瓶，提升水位高度，取代鑽進氣孔。將澆水器放在空心磚上，使盛水容器開口和盆栽等高 (如圖 16)。



圖 16. 依植物需要調整澆水器規格



圖 17. 種菜實際驗證成果

使用澆水器時，首先要評估植物的用水量，接著依據以上所提出控制水量的方法，調整棉繩及水位高度。試種時，必須要觀察「植物的生長狀況」、「土壤的濕潤程度」，找到最適合的規格。本實驗經五天觀察物生長狀況及土壤的濕潤程度，不斷調整，使用 1/2 條 5 號粗繩分散配置，同時以 5 塊隔板將供水瓶墊高，提升盛水容器水位約 6cm，使水沿著棉繩爬升約 6cm，可使土壤充分潤濕且無餘水外流，為最適合的規格。經過一個多月，成功的種植出綠意盎然的小白菜 (如圖 17)，證明它是一個值得推廣應用的綠能產品。

陸、綜合討論

- 一、用創新方法達到自動澆灌的效果
- 二、比傳統「澆到花盆滲水」的方式節省 78% 的水
- 三、不用電力，就可以控制澆水器的出水量
- 四、製作容易
- 五、具有環保精神

柒、結論

由實驗一到五，我們成功的找出，利用大自然的毛細現象、大氣壓力及重力的交互作用，藉由澆水器盛水容器水位高低的調整，棉繩數量粗細的選用，不須用電，就可輕易的控制澆水器出水量；實驗六至八，驗證了土壤及擺放地點會影響澆水器出水量；實驗九更證實了，我們設計的澆水器確實省水。最後，我們依據上述的實驗結果，適當的調整盛水容器水位高度及棉繩數量，控制澆水器的出水量，結果輕易種出綠油油的鮮嫩蔬菜。

在這次研究中，我們做到了「利用回收的寶特瓶，輕鬆的製造出環保省水節能、不須用電就可控制出水量、神奇好用的『好神』！省水自動澆水器」。

捌、參考資料

- 一、全國科展第 43 屆作品：假日澆花不求人一自動澆水器之原理探討及裝置建議
- 二、全國科展第 48 屆作品：「澆」豔欲「滴」—簡易自動澆水器
- 三、全國科展第 49 屆作品：「滴水不漏—節能環保自動澆水器」
- 四、全國科展第 55 屆作品：源源不絕，「蔬」活自在一—蔬菜自動澆水器
- 五、自然課本四年級下學期康軒版：水的流動