

屏東縣第66屆國民中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：生活與應用科學科(三)(含化學工程/環境科學)

組 別：國小組

作品名稱：華麗轉身-廢棄軟水樹脂對土壤狀況與植物生長影響研究

關鍵詞：軟水樹脂再利用、土壤與植物、盆栽土壤改良



編號：A8013

目錄

摘要	1
前言	1
研究設備及器材	7
研究過程或方法	8
研究結果	11
討論	25
結論	28
參考資料	29

圖表目錄

表一	保水性實驗土壤重量紀錄(第一循環)	12
表二	保水性實驗各組土壤平均重量紀錄(第一循環)	13
表三	保水性實驗土壤重量紀錄(第二循環)	13
表四	保水性實驗各組土壤平均重量紀錄(第二輪)	14
表五	保水性實驗土壤重量紀錄(第三輪)	15
表六	保水性實驗各組土壤平均重量紀錄(第三循環)	15
表七	三次循環不同軟水樹脂混合比例保水率	16
表八	植物發芽觀察紀錄表(紅豆)	17
表九	各組紅豆生長高度紀錄表	19
表十	各組紅豆生長葉片數量紀錄表	20
表十一	不同廢棄軟水樹脂添加比例土壤狀況數據表	23
表十二	各組平均沃度分析表	23
圖一	家用軟水機構造圖	2
圖二	軟水機離子交換原理示意圖	2
圖三	土壤酸鹼定義	6
圖四	環境濕度說明	6
圖五	土壤濕度說明	6
圖六	土壤導電度及沃度分級	6
圖七	不同比例組別土壤重量變化折線圖(第一輪)	13
圖八	不同比例組別土壤重量變化折線圖(第二輪)	14
圖九	不同比例組別土壤重量變化折線圖(第三輪)	15
圖十	A組(軟水樹脂0%) 紅豆生長高度折線圖	17
圖十一	B組(軟水樹脂5%) 紅豆生長高度折線圖	18
圖十二	C組(軟水樹脂10%) 紅豆生長高度折線圖	18
圖十三	D組(軟水樹脂15%) 紅豆生長高度折線圖	18
圖十四	A組(軟水樹脂0%) 紅豆葉片生長數量折線圖	20
圖十五	B組(軟水樹脂5%) 紅豆葉片生長數量折線圖	21
圖十六	C組(軟水樹脂10%) 紅豆葉片生長數量折線圖	21
圖十七	D組(軟水樹脂15%) 紅豆葉片生長數量折線圖	22
圖十八	不同廢棄軟水樹脂混合比例土壤狀況數據折線圖	23

作品名稱：華麗轉身-廢棄軟水樹脂對土壤狀況與植物生長影響研究

摘要

從同學家裡的軟水機到花盆，我們試著幫廢棄的軟水樹脂華麗轉身，找到另外一個舞台。透過一系列的實驗：不同廢棄軟水樹脂混合比例對土壤保水性、對植物(紅豆)生長的影響、對土壤狀況的影響、對水培植物(黃金葛)的影響，我們真得幫廢棄軟水樹脂找到另一個舞台。我們發現了5%廢棄軟水樹脂的黃金比例，是在盆栽種植植物的最佳配方，這個配方的最初持水度最高，保水度佳，而廢棄軟水樹脂裡的離子，也提供了適度的營養，使得5%這個比例的土壤沃度是最適合植物生長的。而水培植物在高比例的廢棄軟水樹脂加水環境中，亦可以順利生長，有效杜絕水培盆栽積水孳生病媒蚊的問題。廢棄軟水樹脂華麗轉身大成功。

壹、前言

一、研究動機

上學期，同學家裡的軟水機更換軟水樹脂，同學把它帶到學校給我們看，這是我們第一次看到這種東西，看起來金黃又細緻，摸起來冰冰涼涼，非常有趣又抒壓。只是接著問題來了，這一大布袋的軟水樹脂，該怎麼處置它才好呢？四年級的自然課，我們學習到沒有處理好塑膠用品，會對環境帶來巨大的破壞，大家講到塑膠微粒，更是聞之色變。它是塑膠微粒嗎？他有什麼再利用的價值嗎？老師把這問題交給我們，我們組員中有同學家裡是務農的，三年級的自然課，我們也學習到植物生長的要素，這些廢棄的軟水樹脂細細軟，很像土壤的質地，這些因素，讓我們有了將軟水樹脂混入土壤的想法，開啟幫軟水樹脂找出路的研究之旅。

二、研究目的

為了幫軟水樹脂找出路，看看能否幫它華麗轉身，我們希望可以達到以下的研究目的：

- (一)了解軟水樹脂的成分以及它在軟水機中扮演的角色。
- (二)了解軟水樹脂的特性，尋找再利用的途徑。
- (三)探討廢棄軟水樹脂加入土壤後，是否能提高土壤保水能力。

(四)比較不同廢棄軟水樹脂添加比例，對植物生長的影響。

(五)比較不同廢棄軟水樹脂添加比例，對土壤狀況的影響。

(六)評估以高比例廢棄軟水樹脂應用於水培植物的可行性。

三、文獻回顧

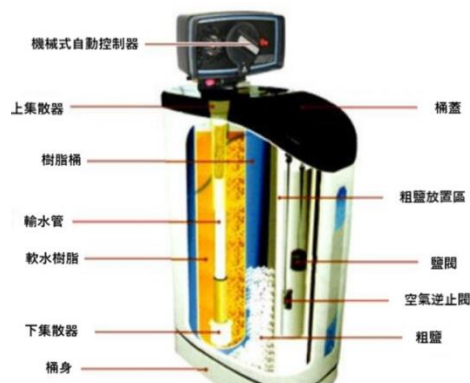
(一)軟水機的主角-軟水樹脂身世之謎

台灣南部地區的水質，因為礦物質的含量較高，是容易產生水垢的硬水，這樣的水質影響了飲用水的口感，也容易產生水垢，造成日常用品或家用電器如熱水瓶等的故障，為解決這樣的民生問題，台灣南部相當盛行軟水機。

其實，水質軟化的技術從19世紀就開始發展，西元1841年蘇格蘭醫生Thomas Clarke為「石灰軟化法」申請了專利，這成為市政供水系統最早使用的軟化技術。到了1850年代研究發現土壤中的矽酸鹽具有交換離子的特性。而現代化利用離子交換的技術到了20世紀初，由德國化學家甘斯(Robert Gans)發明第一代合成沸石軟水劑，這奠定了現代軟水機的運為了改善硬水導致的管垢問題。隨後，在1925年，ECOWATER SYSTEMS的創始人Lindsay先生發明並註冊了世界上首台家用軟水機，開啟了家用軟水領域。而促使軟水機將硬水軟化的主角，軟水樹脂，主要是由苯乙烯與二乙烯苯這種高分子聚合而成。這是一種帶有磺酸基團的網狀結構，是不溶性及穩定的球狀顆粒形態。

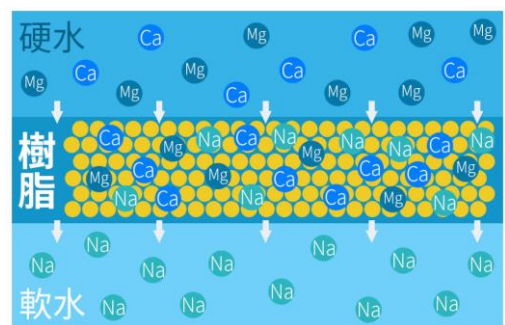
這樣的離子交換樹脂帶有大量的鈉離子。原水通過鈉離子交換樹脂時，離子交換樹脂中鈉離子就將水中的鈣、鎂離子置換出來，這樣水中的鈣離子、鎂離子含量降低，硬水就變為軟水，這是軟化水設備的工作過程。

(二)軟水機的運作機轉



圖一 家用軟水機構造圖

資料來源: 京城淨水淨水小知識(2020.10.27)



圖二 軟水機離子交換原理示意圖

資料來源: Haier 淨水網頁(2023.09.18)

軟水機通常以離子交換樹脂為填充材料，交換水中造成硬度的陽離子，達到硬水軟化的目的。水中若存有過高的硬度（主要是鈣與鎂陽離子），則煮開水會產生白色碳酸鹽沈澱物（即俗稱的茶垢），軟水器通常使用離子交換樹脂，利用樹脂中之陽離子（通常是鈉離子）交換水中之鈣與鎂離子等，以達到軟化硬水的目的。由於陽離子交換樹脂對電荷越多，分子量愈大的離子有越大的吸引力，因此軟水器對水中離子態的重金屬也有去除效果(環境部飲用水全球資訊網，2021)。

當樹脂大量與鈣、鎂離子結合後，樹脂的軟化能力下降，可以用氯化鈉溶液流過樹脂，此時溶液中的鈉離子含量高，樹脂會釋放出鈣鎂離子而與鈉離子結合，這樣樹脂就恢復了交換能力，這個過程叫作「再生」(京城淨水網頁，2020)。所以家用軟水機一段時間後就需要加入鹽，使其再生恢復軟水樹脂的功能。常使用在家庭生活用水、灑水系統、餐飲、食品、化工、醫藥、空調、工業循環水等等領域應用中。但是這樣的再生功能，無法一直維持樹脂對於水的軟化效能，所以大約2至3年就需要更換被包覆在軟水機內部的軟水樹脂，這也是我們研究對象-廢棄軟水樹脂的由來。

由以上二部分的文獻可以知道，軟水樹脂是以離子交換的技術來達到讓水質軟化的功能，甚至可以吸附水中的重金屬，運用在生活食用、醫療以及工業等方面，可說是小兵立大功。

(三)軟水樹脂與塑膠微粒的差異

樹脂到底是不是塑膠？這是我們第一次接觸到軟水樹脂時的疑問。如果是塑膠，它這麼小，會不會是大家聞之色變的塑膠微粒呢？如果是，這也太可怕了，還用來過濾水中的鎂和鈣，這樣豈不是讓人們喝到塑膠水了嗎？這一大堆的疑問，促使我們開始找答案。

用於水處理的離子交換樹脂軟水機裡的軟水樹脂是直徑約 0.5~1.0 mm 的圓球狀離子交換樹脂，主要成分是聚苯乙烯（Polystyrene），屬於一種特殊設計的塑膠顆粒。家用軟水機必須使用食品級離子交換樹脂，這是法令的規定。食品級樹脂在生產過程中不會使用有毒有害的化學物質，不會釋放任何對人體有害的物質。食品級樹脂是指符合衛生安全標準（如 FDA、NSF、衛福部認證）、無毒、耐腐蝕且適合與食品直接

或間接接觸的樹脂材料(淨優水，2025)。

而危害環境的塑膠微粒現在國際上一班的定義雖然是指粒徑範圍小於5mm之固體廢棄塑膠碎裂物，而危害人體最大的則是尺寸小於0.0001mm的奈米塑膠微粒，塑膠微粒的來源常是工業製造時，體積就很小的塑膠纖維或顆粒或是從塑膠袋、塑膠瓶或輪胎磨損顆粒等各種塑膠產品中，因化學或物理老化或降解而產生，常見型態有顆粒、碎片、薄片與纖維等。塑膠產品會因特定性能要求而加入添加劑，例如目前最受關注的 DEHP 塑化劑與雙酚A(台灣公衛學生聯合會，2021)。因此，除了塑膠微粒本身材質，也必須考量添加化合物從微粒中滲濾到水或周圍環境中所帶來的影響。

由上面的資料可以知道，軟水機使用的軟水樹脂和常見的塑膠雖然原料的成分可能一樣，但是一般塑膠製品常因應不同功能加入了其他不同的化學物品，甚至是有毒的物質，但並不是所有的塑膠都是大惡魔。軟水樹脂是食品級離子交換樹脂，本身的網狀結構，使得這種樹脂具有不溶性及穩定的球狀顆粒形態不易碎裂。所以軟水樹脂雖然體積小，但並不是我們常聽到的塑膠微粒，而因為它食品級的出身，使得它也具有無毒、無味的特性。

(四)廢棄軟水樹脂的物理與化學性質

討論完了裝在軟水機中的軟水樹脂，而已經失去活性而被從軟水機中替換出來的廢棄軟水樹脂呢？老師提醒我們，要知道這些東西的用途，就必須要先了解這些物質的物理和化學性質，才能找到再利用的方向。軟水樹脂的本質是一種高分子聚合物（通常是聚苯乙烯），其結構就像一顆微小的「硬海綿」。因為他的網狀結構，這些球狀樹脂顆粒內部充滿了微小的孔隙，這些孔隙原本是用來容納水溶液以進行離子交換的。這樣的可以容納水的物理性質並不會因為失去活性而改變。

而在解開軟水樹脂身世之謎時，我們知道它是帶有磺酸基團的高分子聚合而成。磺酸基是親水基團，可增加有機物的水溶性(維基百科，2024)。這些基團就像磁鐵一樣吸引水分子，使樹脂在飽和狀態下含水率通常可達40%至50%，例如陶氏化學出產的食品級軟水樹脂規格書中就註明含水率48-52%(陶氏化學，2026)

因為軟水樹脂通常是用鹽（NaCl）再生的。如果是廢棄樹脂，裡面可能殘留高濃度的鈉離子。若是工業用的，更可能吸附了重金屬，因此在二次利用時，必須要注意。

根據以上資料，失去活性的軟水樹脂，靠內部的化學鍵結與微孔，不像海綿一捏就乾，水分釋放較為緩慢。維持穩定圓球狀，能保持一定的透氣性，不會像淤泥一樣塌陷。而其穩定的化學性質讓它的保水能力在自然環境下可以維持很久。所以我們發現可以利用廢棄軟水樹脂的保水性來思考它的第二舞台，而我們利用的是家庭軟水機，因此不會有重金屬殘留的問題，只是高鈉離子的狀況，必須在二次利用時以大量清水沖洗後才能使用。

(五)土壤的健康檢查數字解謎

在蒐集資料的過程中，我們發現軟水樹脂除了改善飲用水的水質之外，也被製造商應用在水族箱的水質改造。除此之外，軟水樹脂具有能吸附離子、可保留水分、顆粒狀、類似土壤介質，而且我們附近都是農田，同學家裡也是務農，所以我們更想知道廢棄的軟水樹脂是不是可以改善土質？還有因為它的保水性佳，是不是也可以減少澆水的次數？或者可以拿來填充在裝水的花瓶中，可以減少用水養植物造成的積水容器滋生病媒蚊的問題。

想要解決這些問題，我們必須對土壤有所了解。根據農業部(2018)的報導，土壤提供植物生長所需的大部分養分，因此，土壤的一些特性將會影響養分的有效性。首先是土壤pH值，土壤酸鹼度（pH 值）藉由礦質鹽類的溶解度和土壤微生物的活動等，影響植物的營養與生長。當土壤pH 值為5.5 ~ 7.5 時，對大多數植物的生長均極適合，但在一般情況下，土壤中陽離子的吸收則隨pH 值增加而上升，陰離子的吸收則隨pH 值增加而下降。有關土壤pH 值與各種營養要素的有效性關係，若pH 值在6.5 附近，各種要素的有效性最高，因此，調整土壤pH值是改善土壤養分情況最有效、快速的方法。土壤的pH 值除了直接影響養分的有效性外，也影響微生物的生育與活動，強酸及強鹼皆不利於微生物發育，強鹼同時也可分散土壤粘粒，造成排水不良，並溶解土壤腐植質，阻礙土壤團粒形成，間接危害植物生長。

第二則是土壤水，所有的營養元素都須溶解在水裡，經整體流動、擴散作用或根的截取而為植物所吸收利用，所以水分不足時，施肥效果很差，特別是磷和鉀，主要靠擴散而被植物吸收，其在乾旱條件下更易缺乏。因此，在乾旱狀態，所有的元素吸收將受到抑制；反之，灌溉可增加養分的吸收量。

第三是土壤中養分，土壤中養分濃度會直接影響養分的有效性，基本上，養分的濃度越高，有效性也越高，但如果太高也將影響植物生長。植物有高鹽與低鹽植物之分，若植物本身即為高鹽植物，或在幼苗時以人工方式吸收較多養分成高鹽植物，則吸收養分的能力弱；但若為低鹽植物，則吸收養分的能力強。我們找到的六合一土壤檢測器，就是以導電度(EC)作為土壤沃度的代表，以 $\mu\text{ s/cm}$ 為單位，所以不同的植物需要的沃度環境不同，人要因材施教，植物也得因材施教啊！



圖三 土壤酸鹼定義

資料來源:六合一土壤檢測器使用說明



圖五 土壤濕度說明

資料來源:六合一土壤檢測器使用說明



圖四 環境濕度說明

資料來源:六合一土壤檢測器使用說明

土壤分級	水飽和土 (1:1)	水土比 1:2	水土比 1:5	說明
I	0 ~ 1	0 ~ 0.25	0 ~ 0.10	肥力偏低
II	1 ~ 2	0.25 ~ 0.50	0.10 ~ 0.25	肥力略低
III	2 ~ 4	0.50 ~ 1.25	0.25 ~ 0.60	適合作物生長
IV	4 ~ 8	1.25 ~ 1.75	0.60 ~ 0.80	肥力略高
V	8 ~ 16	1.75 ~ 2.00	0.80 ~ 1.00	肥力偏高
VI	> 16	> 2.00	> 1.00	作物易受害

圖六 土壤導電度及沃度分級 單位: $\mu\text{ s/cm}$

資料來源:小耕園(2022)

(六)文獻結論

- 1、軟水樹脂，是由苯乙烯與二乙烯苯這種高分子聚合而成。
- 2、軟水樹脂是利用樹脂中之陽離子（通常是鈉離子）交換水中之鈣與鎂離子等，以達到軟化硬水的目的甚至可以吸附水中的重金屬，運用在生食用、醫療等方面。
- 3、軟水機使用的軟水樹脂原料成分雖是塑膠，但是一般塑膠製品常因應不同功能加入了其他不同的化學物品。軟水樹脂是食品級離子交換樹脂，雖然體積小，但並不是我們常聽到的塑膠微粒。
- 4、家庭軟水機內的廢棄樹脂具有高保水度、以高鹽度的物理及化學特質。
- 5、我們可以透過土壤檢測器檢驗土壤的酸鹼值、環境濕度、土壤溼度以及導電度等來判斷土壤的健康狀況。

貳、研究設備及器材

為了達到我們的研究目的，我們設計了三個實驗，使用到的研究設備及器材如下：

一、不同廢棄軟水樹脂混合比例對於土壤保水性的影響

						
	培養土	軟水樹脂	電子秤	7吋小盆	燒杯	紀錄表
數量/重量	10公斤一袋	一袋	1個	8個	1個	3張

二、不同廢棄軟水樹脂混合比例對植物生長以及土壤狀況影響實驗

								
	培養土	軟水樹脂	電子秤	7吋小盆	紅豆	游標尺	高度測量尺	土壤檢測器
數量	10公斤一袋	一袋	1個	12個	36顆	1枝	12枝	1具

三、水培植物添加廢棄軟水樹脂對植物生長影響實驗

					
	水	軟水樹脂	塑膠盆	黃金葛	電子秤
數量/重量	2000g	1450g	2個	4株(各5葉)	1個

參、研究過程或方法

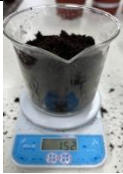
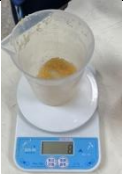
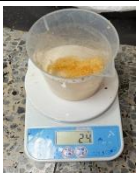
在知道廢棄的軟水樹脂還有再利用的可能性之後，因為學校附近農田多，我們想到試廢棄軟水樹脂，是否會影響到植物的生長狀況，又因為鄰近萬丹，所以選定萬丹最有名的紅豆為觀察的對象。

為了達到研究目的，我們有了三個研究問題，依據問題我們設計了以下三個實驗：

一、不同廢棄軟水樹脂混合比例對於土壤保水性的影響

(一)研究假設：加入適量廢棄軟水樹脂的土壤，其保水能力會高於未添加者。

(二)實驗設計：

盆編號	A4	A5	B4	B5	C4	C5	D4	D5
								
土壤	160g		152g		144g		136g	
軟水樹脂	0g		8g		16g		24g	
軟水樹脂比例	0%		5%		10%		15%	
實驗組/對照組	對照組		實驗組		實驗組		實驗組	
混土測量照片			 		 		 	

(三)研究過程：

1、將廢棄軟水樹脂泡水搓洗沖洗3次後，晾乾備用。

- 2、將小盆依混合廢棄軟水樹脂的比例分為A-D共4組，為增加實驗準確性每組同比例的混土2盆。
- 3、編號A4、A5為純培養土，各160g；編號B4、B5各152g的培養土加上8g的軟水樹脂(5%)；編號C4、C5各144g的培養土加上16g的軟水樹脂(10%)；編號D4、D5各136g的培養土加上24g的軟水樹脂(15%)。
- 4、未加水前之總重量均為162g(盆重2g)，每盆加入150ml的水後，靜置1分鐘等沒有水從盆底流出，測量每盆的重量，紀錄在土壤重量紀錄表中。
- 5、之後每天不澆水，但每天量每盆重量，一循環7天，每一循環開始重新每盆加水150g，重複以上步驟，共計實驗三次循環。

二、不同廢棄軟水樹脂混合比例對植物生長及土壤狀況影響實驗

(一)研究假設：有添加適當比例軟水樹脂時，土壤狀況與植物生長較佳。

(二)實驗設計：

盆編號	A1	A2	A3	B1	B2	B3
						
土壤	160g			152g		
軟水樹脂	0g			8g		
軟水樹脂比例	0%			5%		
實驗組/對照組	對照組			實驗組		
紅豆數量	3顆			3顆		
種子大小	0.6-0.8cm			0.6-0.8cm		
埋豆深度	2cm			2cm		
澆水量	150ml/次			150ml/次		

盆編號	C1	C2	C3	D1	D2	D3
						
土壤	144g			136g		
軟水樹脂	16g			24g		
軟水樹脂比例	10%			15%		
實驗組/對照組	實驗組			實驗組		
紅豆數量	3顆			3顆		
種子大小	0.6-0.8cm			0.6-0.8cm		
埋豆深度	2cm			2cm		
澆水量	150ml/次			150ml/次		

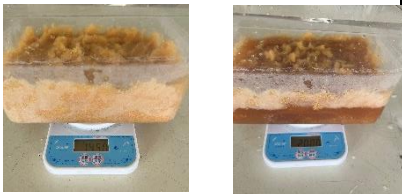
(三)研究過程：

- 1、將小盆依混合廢棄軟水樹脂的比例分為A-D共4組，為增加實驗準確性每組同比例的混土3盆。
- 2、編號A1、A2、A3為純培養土，各160g；編號B1、B2、B3各152g的培養土加上8g的軟水樹脂(5%)；編號C1、C2、C3各144g的培養土加上16g的軟水樹脂(10%)；編號D1、D2、D3各136g的培養土加上24g的軟水樹脂(15%)。
- 3、每盆埋入3顆紅豆，深度2公分，之後每盆加入150ml水，放在相同地方，每天記錄發芽狀況及植物高度及葉片數量，每3天澆水一次，每次150ml。
- 4、第一次種植從1月15日到1月26日，12盆均無發芽，檢討原因另購買紅豆重新種植。
- 5、第二次種植從1月26日記錄到2月22日，期間遇部分葉片被拔以及折斷莖部的狀況。
- 6、從2月13日至2月22日每日測量並紀錄土壤的健康狀況在紀錄表上。

三、水培植物添加軟水樹脂對植物生長影響實驗

- (一)研究假設：水培植物以高比例軟水樹脂的方式種植，仍可順利生長並減少植栽積水滋生病蚊問題。

(二)實驗設計：

	實驗組	對照組
		
水的重量	550g	2000g
軟水樹脂重量	1450g	0g
黃金葛數量	2株，各5葉	2株，各5葉
水與軟水樹脂混合照片		

(三)研究過程：

- 1、將軟水樹脂1450g加上水550g，總重2000g，作為實驗組。軟水樹脂與水的比例是因為這樣的比例不會有積水層，可以避免盆栽成為積水容器。
- 2、將另一個塑膠盆裝水2000g，作為對照組。
- 3、將實驗組及對照組都放進2株黃金葛，每株有5片葉子。均放在學務處桌上，不再加水，每隔幾天拍照記錄二者的變化，7天後加第二次水，繼續紀錄。實驗從2月11日進行至2月22日。

肆、研究結果

經過以上文獻探討和實驗觀察之後，我們的研究問題獲得以下之結果：

一、軟水樹脂如何達到軟水效果？

大部分家裡的軟水機內部的樹脂是陽離子交換樹脂，利用樹脂中之陽離子，由於陽離子交換樹脂對電荷越多，分子量愈大的離子有越大的吸引力，所以通常軟水樹脂會加入氯化鈉(鹽)，讓樹脂以帶一個正電荷的鈉離子，交換水中的各帶有二個正電荷的鈣和鎂離子，以達到軟化硬水的目的。

二、廢棄軟水樹脂有哪些物理以及化學特質？

軟水樹脂在軟水機內隨著時間及使用量的因素，會因為離子交換能力轉弱，而必須要在加入氯化鈉使其再生。但是這樣的再生過程幾次之後，軟水樹脂的離子交換能力的再生恢復率會降低許多，因此需要進行替換。換下來的軟水樹脂，就變成廢棄軟水樹脂。這些軟水樹脂因為還是帶有磺酸基這個官能基，這個化學特質不會因廢氣而轉變，所以還是具有相當的吸水能力。而網狀結構的球狀體，不易碎裂，球體與球體之間有很多空隙，這個物理特質，也有利於軟水樹脂含水能力。

三、不同廢棄軟水樹脂混合比例對於土壤保水性是否會隨比例提高？

在這個實驗中，我們每次在第一天澆水150g後(原始總重量都是一樣的)。每天測量盆的總重量，以此作為水分散失的重量。以7天為一個循環。並以A4、A5(軟水樹脂含量為0%)為對照組；B4、B5(軟水樹脂含量為5%)；C4、C5(軟水樹脂含量為10%)；D4、D5(軟水樹脂含量為15%)為實驗組，並以每組每日的平均重量繪製出折線圖，以及計算出斜率，以此觀測不同比例的廢棄軟水樹脂混入培養土對於土壤保水性是否會隨比例提高。

(一)第一輪實驗結果(115.1.19-115.1.26)

表一 保水性實驗土壤重量紀錄(第一循環)

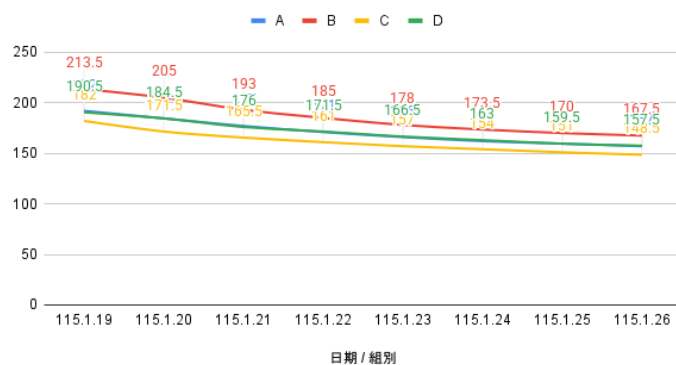
單位：g

日期/ 組別	115.1.19	115.1.20	115.1.21	115.1.22	115.1.23	115.1.24	115.1.25	115.1.26
A-4	194	186	179	173	169	165	162	159
A-5	190	183	175	169	163	159	157	155
B-4	217	208	193	185	178	173	169	166
B-5	210	202	193	185	178	174	171	169
C-4	168	157	152	148	145	143	140	137
C-5	196	186	179	174	169	165	162	160
D-4	183	178	169	165	161	158	155	153
D-5	198	191	183	178	172	168	164	162

表二 保水性實驗各組土壤平均重量紀錄(第一循環) 單位：g

日期/ 組別	115.1.19	115.1.20	115.1.21	115.1.22	115.1.23	115.1.24	115.1.25	115.1.26
A(0%)	192	184.5	177	171	166	162	159.5	157
B(5%)	213.5	205	193	185	178	173.5	170	167.5
C(10%)	182	171.5	165.5	161	157	154	151	148.5
D(15%)	190.5	184.5	176	171.5	166.5	163	159.5	157.5

土壤重量變化折線圖(第一輪)



圖七 不同比例組別土壤重量變化折線圖(第一輪)

根據以上資料，第一輪的實驗 B 組斜率-6.57，A 組斜率-5.00，C 組斜率-4.79 與，D 組斜率-4.71，下降速度以 B 組最快，C、D 組最緩和。雖然 B 組始終維持最高重量，但是其流失水分速度最快，表示其最初的持水能力最好，但是若以水分流失率來看，各組保水能力 D ~C>A>B。

(二)第二輪實驗結果(115.1.27-115.2.03)

表三 保水性實驗土壤重量紀錄(第二循環)

單位：g

日期/ 組別	115.1.27	115.1.28	115.1.29	115.1.30	115.1.31	115.2.1	115.2.2	115.2.3
A-4	230	219	208	198	191	185	178	171
A-5	244	235	228	215	206	196	189	180

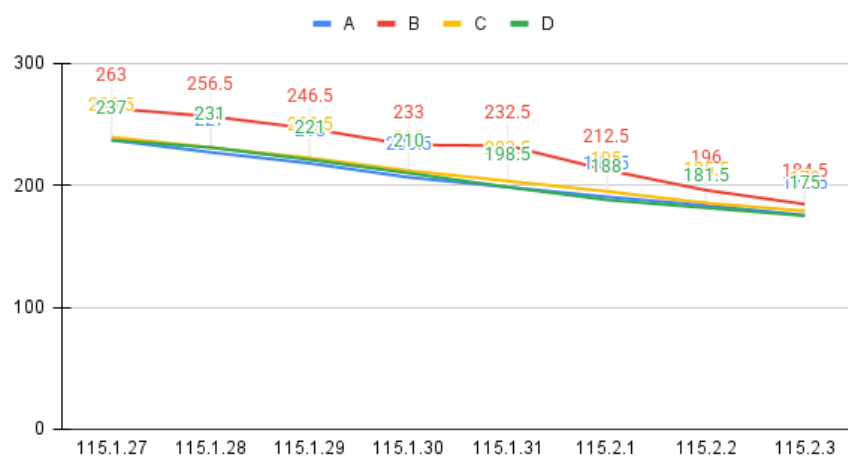
B-4	261	258	248	234	224	213	197	186
B-5	265	255	245	232	221	210	195	183
C-4	203	198	190	182	176	170	166	163
C-5	276	264	255	242	231	220	205	195
D-4	235	228	218	208	195	184	178	172
D-5	239	234	224	212	202	192	185	178

表四 保水性實驗各組土壤平均重量紀錄(第二輪)

單位：g

日期/ 組別	115.1.27	115.1.28	115.1.29	115.1.30	115.1.31	115.2.1	115.2.2	115.2.3
A(0%)	237	227	218	206.5	198.5	190.5	183.5	175.5
B(5%)	263	256.5	246.5	233	232.5	212.5	196	184.5
C(10%)	239.5	231	222.5	212	203.5	195	185.5	179
D(15%)	237	231	221	210	198.5	188	181.5	175

土壤重量變化折線圖(第二輪)



圖八 不同比例組別土壤重量變化折線圖(第二輪)

根據以上資料，第二輪的實驗 B 組斜率-11.21，D 組斜率-8.86，A 組斜率-8.79 與，C 組斜率-8.64，下降速度以 B 組最快，A、C、D 則差不多。仍是 B 組維持最高重量，表示其雖

然蒸散快，但是對於初次澆水的保水度卻是最好的。若以水分流失率來看，各組保水能力 C ~A~D>B。

(三)第三輪實驗結果(115.2.6-115.2.13)

表五 保水性實驗土壤重量紀錄(第三輪)

單位：g

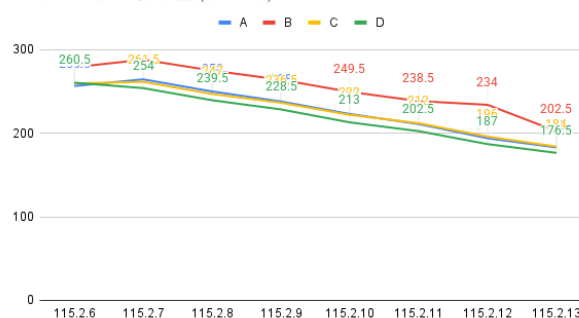
日期/ 組別	115.2.6	115.2.7	115.2.8	115.2.9	115.2.10	115.2.11	115.2.12	115.2.13
A-4	242	248	233	221	206	194	181	173
A-5	271	281	267	255	240	228	207	193
B-4	283	291	278	267	253	241	222	206
B-5	275	285	272	261	246	236	216	199
C-4	230	240	224	213	198	189	177	169
C-5	289	283	270	260	246	235	215	199
D-4	263	257	242	231	215	204	187	176
D-5	258	251	237	226	211	201	187	177

表六 保水性實驗各組土壤平均重量紀錄(第三循環)

單位：g

日期/ 組別	115.2.6	115.2.7	115.2.8	115.2.9	115.2.10	115.2.11	115.2.12	115.2.13
A(0%)	256.5	264.5	250	238	223	211	194	183
B(5%)	279	288	275	264	249.5	238.5	234	202.5
C(10%)	259.5	261.5	247	236.5	222	212	196	184
D(15%)	260.5	254	239.5	228.5	213	202.5	187	176.5

土壤重量變化折線圖(第三輪)



圖九 不同比例組別土壤重量變化折線圖(第三輪)

根據以上資料，第三輪的實驗資料顯示 2 月 7 日除了 D 組之外，其他組別重量全部增加，這種特別的現象是因為 2 月 6 日下了整天雨，雖然是在各組都放在走廊，但空氣中水氣充足的關係。B 組斜率-14.25，A 組斜率-13.58，C 組和 D 組斜率都是-12.92，下降速度以 B 組最快，C、D 則一樣。而初始吸水度仍以 B 組最佳。若以水分流失率來看，各組保水能力 C ~D>A>B。

我們以保水率(%)= (150-累計流失量)/150 的公式計算保水率，整理出下面的表：

表七 三次循環不同軟水樹脂混合比例保水率

組別	第一次循環 (1/19-1/25)	第二次循環 (1/27-2/2)	第三次循環 (2/6-2/12)
A	78.30%	64.30%	58.30%
B	71.00%	55.30%	70.00%
C	79.30%	64.00%	57.70%
D	79.30%	63.00%	51.00%

綜合以上三輪的實驗結果，我們發現培養土中混入軟水樹脂，初始的吸水量確實相當優於沒有混入軟水樹脂的培養土，以B組的初始吸水量表現最好，但流失速度也快；而水分流失率廢棄軟水樹脂含量為10%及15%表現最優異，水分流失率較低。而A組則表現穩定。這樣的結果部分驗證實驗一的研究假設，加入適量廢棄軟水樹脂的土壤，其保水能力會高於未添加者。

四、不同廢棄軟水樹脂混合比例對植物生長會有影響嗎？

我們將A1、A2、A3(軟水樹脂含量0%)，作為對照組；B1、B2、B3(軟水樹脂含量為5%)、C1、C2、C3(軟水樹脂含量為10%)、D1、D2、D3(軟水樹脂含量為15%)為實驗組，每盆種入3顆紅豆，並記錄其生長狀況，以了解不同比例廢棄軟水樹脂混入培養土對植物生長會不會有影響。第一次種植為115年1月15日，每天觀察，但到了1月26日宣告失敗，因為1顆種子都沒有發芽，我們找了資料說紅豆發芽最慢大約1周，我們等了10天，檢討原因之後可能是種子的品質不好，所以重新換了整批紅豆，進行第二次種植，這次就順利發芽，雖然2月13日發現有部分紅豆的植株被破壞，但還好沒有全部壞掉，以下就是我們的觀察結果。

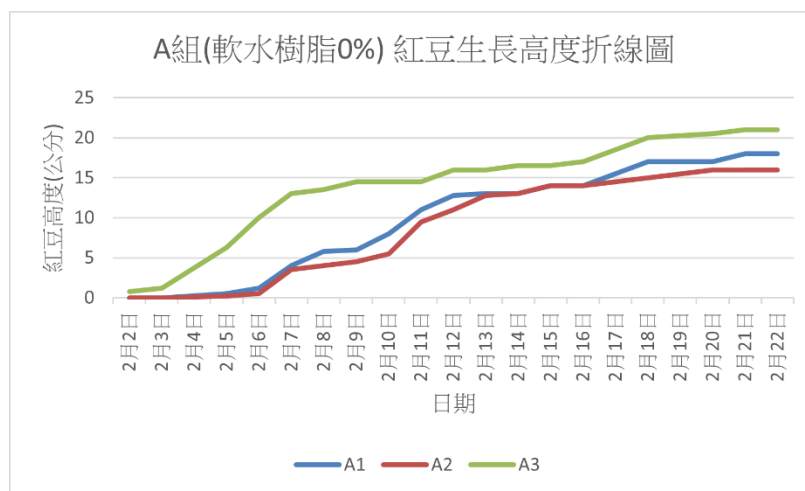
(一) 不同廢棄軟水樹脂混合比例對植物(紅豆)發芽會有影響嗎？

表八 植物發芽觀察紀錄表(紅豆)

盆編號	播種日期	發芽日期	發芽天數	有/沒有	備註
A-1	115.1.26	115.02.05	10	■有 □沒有	
A-2	115.1.26	115.02.05	10	■有 □沒有	
A-3	115.1.26	115.02.02	7	■有 □沒有	0.8CM
B-1	115.1.26	115.02.03	8	■有 □沒有	0.2CM
B-2	115.1.26	115.02.05	10	■有 □沒有	
B-3	115.1.26	115.02.06	11	■有 □沒有	
C-1	115.1.26	115.02.05	10	■有 □沒有	
C-2	115.1.26	115.02.05	10	■有 □沒有	
C-3	115.1.26	115.02.05	10	■有 □沒有	
D-1	115.1.26	115.02.03	8	■有 □沒有	0.1
D-2	115.1.26	115.02.05	10	■有 □沒有	
D-3	115.1.26	115.02.03	8	■有 □沒有	0.2

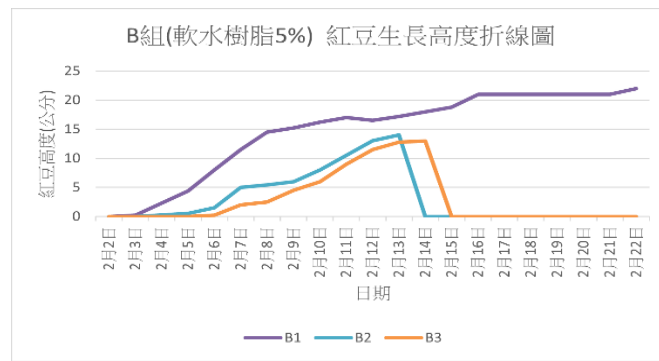
根據以上紀錄，A組(軟水樹脂含量0%)平均發芽天數為9天；B組(軟水樹脂含量5%)平均發芽天數為9.6天；C組(軟水樹脂含量10%)平均發芽天數為10天；D組(軟水樹脂含量0%)平均發芽天數為8.6天，顯示各組之間所需的發芽天數並沒有顯著的差異。所以不同比例的軟水樹脂混入培養土對於紅豆的發芽並無明顯的影響。

(二) 不同廢棄軟水樹脂混合比例對植物(紅豆)生長會有影響嗎？



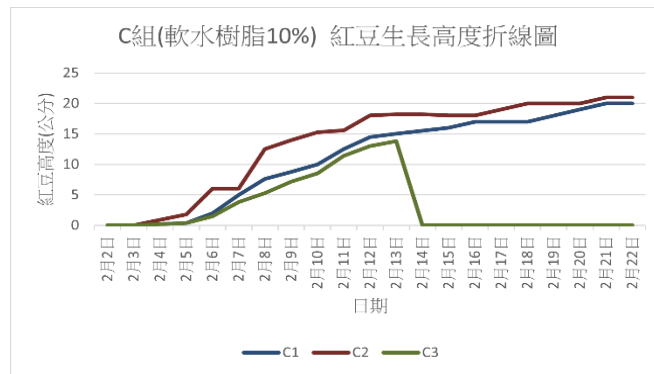
圖十 A組(軟水樹脂0%) 紅豆生長高度折線圖

因為每一盆裡有三顆種子，上圖是以每盆的最大值作為代表，A1斜率0.9、A2斜率0.8、A3斜率1.01，A組平均斜率0.9。A3 (綠線/最高)： 成長最快且基數最高，但在2月12日後進入平台期，隨後在2月18日再次跳升。A1 & A2 (藍/紅線)： 兩者路徑相似，前期緩慢，在2月10日後斜率明顯增加。



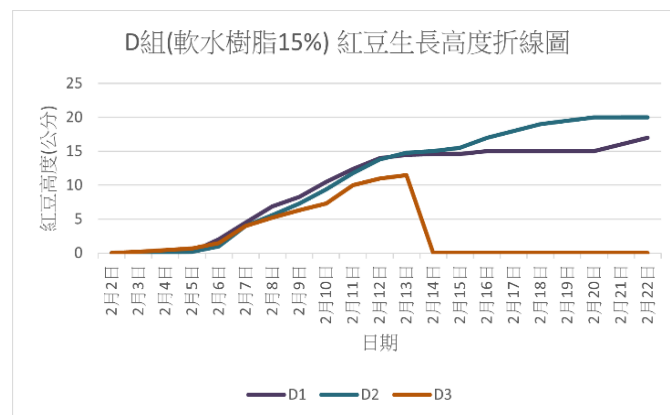
圖十一 B組(軟水樹脂5%) 紅豆生長高度折線圖

因為B組有二顆紅豆在觀察期間遭到破壞，依同樣方式計算斜率，B1斜率1.1、B2斜率1.27、B3斜率1.08，B組平均斜率1.15。B1(紫色)：生長最為穩定且持續，最終高度達到最高。B2(藍色)：前期緩慢增長，在2月13日達到高峰突然中斷（數值歸零）。B3(橘色)：生長最為遲緩，在2月14日達到高峰同樣發生數據中斷。



圖十二 C組(軟水樹脂10%) 紅豆生長高度折線圖

因為C組有一顆紅豆在觀察期間遭到破壞，依同樣方式計算斜率，C1斜率1、C2斜率1.05、B3斜率1.27，C組平均斜率1.10。C2 (紅線)：生長表現最優異，領先其他兩組，最終高度約達 21 cm。C1(藍線)：穩定成長，雖然前期稍慢，但最終高度也達到了 20 cm。C3 (綠線)：前期生長軌跡與 C1 相似。



圖十三 D組(軟水樹脂15%) 紅豆生長高度折線圖

因為D組有一顆紅豆在觀察期間遭到破壞，上圖是以每盆的最大值作為代表，計算每株生長期間的斜率，D1斜率0.85、D2斜率1、D3斜率1.05，D組平均斜率1。D2 (深綠線)：為該組表現最穩定的樣本，生長曲線平滑且最終高度達到20cm。D1 (深紫線)：前期與 D2 幾乎重合，但在2月12日後生長速度明顯放緩，最終高度約為17cm。D3(棕線)：前期成長較慢，且在2月13日達到約11.5cm 的峰值後，於2月14日數據歸零（與 B、C 組部分樣本情況類似）。

表九 各組紅豆生長高度紀錄表

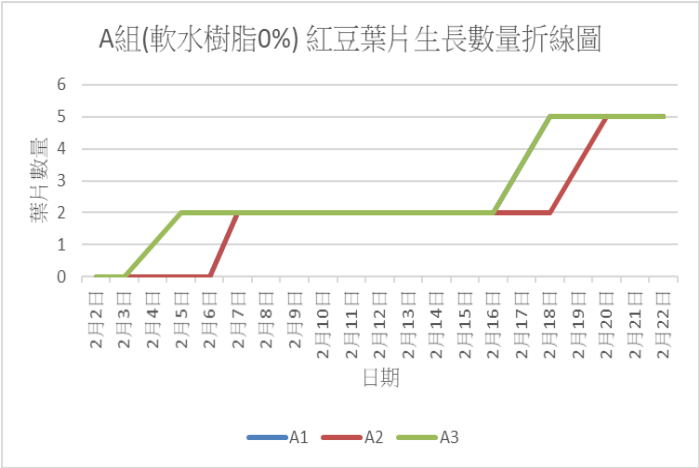
單位:cm

	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3	D1	D2	D3
2月2日	0	0	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2月3日	0	0	1.2	0.2	0	0	0	0	0	0.1	0	0.2
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2月5日	0.5	0.2	6.3	4.4	0.5	0	0.4	1.8	0.4	0.2	0.2	0.7
	0.3	0.1	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2月6日	1.2	0.5	10	8	1.5	0.2	2	6	1.5	2	1	1.5
	1	0.2	0.5	0.5	0.5	0	0.5	1	0	0	0	0.5
	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0
2月7日	4	3.5	13	11.5	5	2	5	6	3.8	4.5	4	4
	4	2.5	3.5	4	2	1	2	4	0	1		2
	0	1.5	0	3.5	0	0	0	1	0	0	0	0
2月8日	5.8	4	13.5	14.5	5.4	2.5	7.6	12.5	5.3	6.9	5.6	5.2
	4.8	3.5	4	4.3	4.8	1.5	3.5	5.5	0	1.8		3.8
	0	3	1.5	4	0	0.5	0	2.8	0	0	0	0
2月9日	6	4.5	14.5	15.2	6	4.5	8.8	14	7.2	8.3	7.3	6.3
	5.5	3.5	4.5	5.5	5	3	5	6.5	0	3	0	4
	0	3.5	2	4.5	0	1	0	3	0	0	0	0
2月10日	8	5.5	14.5	16.2	8	6	10	15.3	8.5	10.5	9.4	7.3
	6.5	5	5.5	6.5	7.3	4.5	7	8.2	0	4.3	0	5.8
	0	5	3	6.2	0	2	0	4.3	0	0	0	0
2月11日	11	9.5	14.5	17	10.5	9	12.5	15.6	11.4	12.4	11.8	10
	8	9	10	11.5	10.5	7.5	11.5	10.5	0	6.8	0	9.2
	0	7.5	6.5	10.5	0	4	0	8.4	0	0	0	0
2月12日	12.8	11	16	16.5	13	11.5	14.5	18	13	14	13.8	11
	8.5	11	10.4	12.4	11.8	9.5	12.2	13	0	8	0	10
	0	9	8.8	10	0	5.5	0	11	0	0	0	0
2月13日	13	12.8	16	17.2	14	12.8	15	18.2	13.8	14.5	14.8	11.5
	9	12	10.8	12.6	12.8	10.7	13	13.5	2.5	9	4	10.4
	0	10	9	11	1.5	6	0	10	0	0	0	0
2月14日	13	13	16.5	18	×	13	15.5	18.2	×	14.6	15	×
	9	12	11.2	×	13	11	13.5	13.5	3	×	4	10.5
	0	10.5	×	11	2.5	6	1.5	11	0	0	0	0
2月15日	14	14	16.5	18.8	×	×	16	18	×	14.6	15.5	×
	10	12	11	×	13.8	11.8	15	14.4	5.5	×	7	12
	0	10	×	12	5.5	6	5	11	0	0	0	0
2月16日	14	14	170	21	×	×	17	18	×	15	17	×
	10	12	12	×	15	13	15	15	7	×	8	13
	0	10	×	12	9	8	7	11	0	0	0	0
2月18日	17	15	20	21	×	×	17	20	×	15	19	×
	8	12	14	×	17	16	16	16	8	×	10	14
	0	11	×	14	15	15	12	13	0	0	0	0
2月20日	17	16	20.5	21	×	×	19	20	×	15	20	×
	9	12	15	×	17	17	18	16	9	×	12	14.5
	0	12	×	16	15	16	14	15	0	0	0	0
2月21日	18	16	21	21	×	×	20	21	×	16	20	×
	11	12.5	14	×	17	17	20	18	15	×	13.5	15
	0	13	×	16	16	16	14.5	13.5	0	0	0	0
2月22日	18	16	21	22	×	×	20	21	×	17	20	×
	11	15	14	×	17	17	20	18	15	×	14	15
	0	13	×	16	16	16	15	14	0	0	0	0

表十 各組紅豆生長葉片數量紀錄表

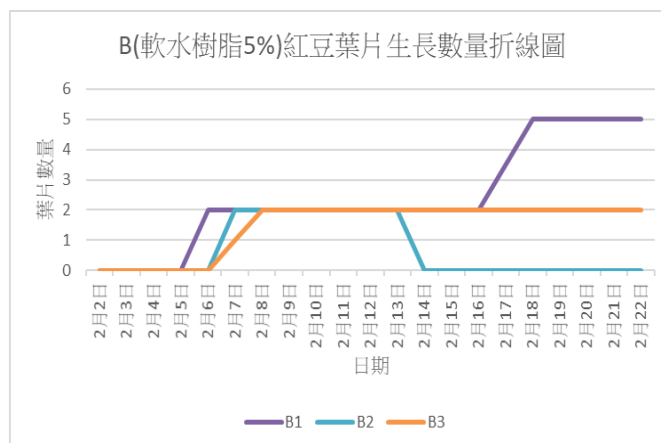
單位:片

	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3	D1	D2	D3
2月2日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2月3日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2月5日	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2月6日	0	0	2	2	0	0	0	0	2	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2月7日	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2
	0	0	0	2	1	0	2	2	0	0	0	1
	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
2月8日	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	1	2	1	2	2	1	2	2	0	1	0	2
	0	2	1	2	0	0	0	2	0	0	0	0
2月9日	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	1	2	2	2	2	1	2	2	0	2	0	2
	0	2	2	2	0	1	0	2	0	0	0	0
2月10日	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	1	2	2	2	2	1	2	2	0	2	0	2
	0	2	2	2	0	1	0	2	0	0	0	0
2月11日	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	2	2	2	2	2	1	2	2	0	2	0	2
	0	2	2	2	0	1	0	2	0	0	0	0
2月12日	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	0	2
	0	2	2	2	0	1	0	2	0	0	0	0
2月13日	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	2
	0	2	2	2	0	2	0	2	0	0	0	0
2月14日	2	2	2	2	×	2	2	2	×	2	2	×
	2	2	2	×	2	2	2	2	3	×	2	2
	0	2	×	2	2	2	2	2	0	0	0	0
2月15日	2	2	2	2	×	2	2	3	×	2	2	×
	2	2	3	×	2	3	5	2	3	×	2	2
	0	2	×	4	3	2	2	2	0	0	0	0
2月16日	2	2	2	2	×	2	2	3	×	2	2	×
	1	2	2	×	2	3	5	2	2	×	2	2
	0	2	×	3	3	2	2	2	0	0	0	0
2月18日	5	2	5	5	×	2	5	5	×	5	5	×
	3	5	5	×	2	2	5	5	3	×	2	5
	0	5	×	5	5	5	2	5	0	2	0	0
2月20日	5	5	5	5	×	2	5	5	×	5	5	×
	4	5	5	×	5	5	5	5	5	×	5	5
	0	5	×	5	5	5	4	5	0	2	0	0
2月22日	5	5	5	5	×	2	5	5	×	5	5	×
	5	5	5	×	5	5	5	5	5	×	5	5
	0	5	×	5	5	5	5	5	0	3	0	0



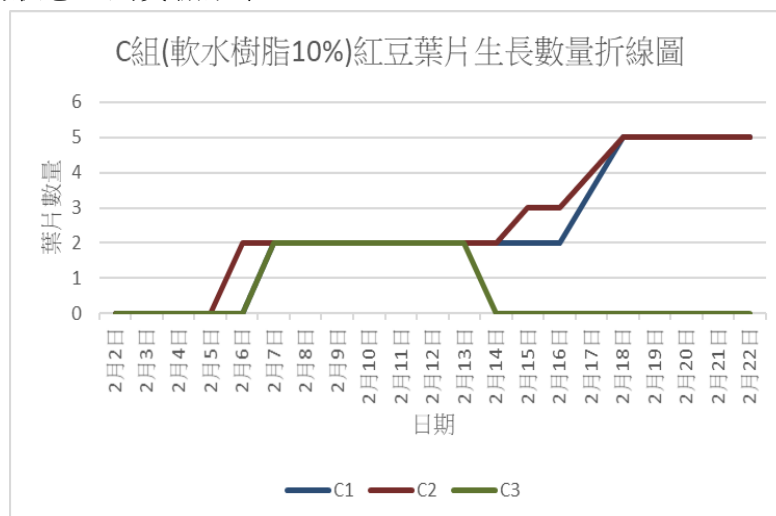
圖十四 A組(軟水樹脂0%) 紅豆葉片生長數量折線圖

因為每一盆裡有三顆種子，上圖是以每盆的最大值作為代表，A1斜率0.25、A2斜率0.25、A3斜率0.25，A組平均斜率0.25。A1、A2葉片數量生長曲線重疊。A3 (綠線)：最早開始長出葉 (2月4日)，且在2月18日率先達到5片葉子的最高峰。A2 (紅線)：成長較晚，2月7日才出現首片葉子，隨後進入一段長時間的平台期，直到2月20日才達到5片。A1(藍線)：圖中顯示A1的軌跡與A3完全重合，這表示A1與A3的生長進度是一致的。



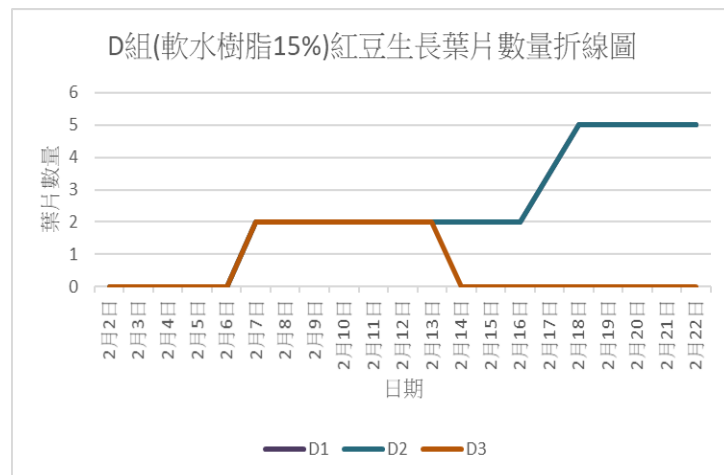
圖十五 B組(軟水樹脂5%) 紅豆葉片生長數量折線圖

因為B組有二顆紅豆在觀察期間遭到破壞，上圖是以每盆的最大值作為代表，計算每株生長期間的斜率，B1斜率0.25、B2斜率0.18、B3斜率0.10，B組平均斜率0.18。B1(紫色)：生長最為強健。在2月6日長出前2片葉子，經過一段長期的平台期後，於2月18日增加至5片並維持到實驗結束。B2(水藍色)：早期生長尚可，在2月7日達到2片葉子，但在2月14日數據歸零 (與高度數據一致，推測樣本失效)。B3(橘色)：成長最慢，2月8日才達到2片葉子，之後一直維持在2片的狀態直到實驗結束。



圖十六 C組(軟水樹脂10%) 紅豆葉片生長數量折線圖

因為C組有一顆紅豆在觀察期間遭到破壞，上圖是以每盆的最大值作為代表，計算每株生長期間的斜率，C1斜率0.25、C2斜率0.25、B3斜率0.18，C組平均斜率0.23。C2(棕紅線)：發育最領先。2月6日率先長出2片葉子，並在2月14日率先突破平台期達到3片，最終於2月18日達到5片。C1(深藍線)：步調與C2接近。2月7日達到2片葉子，雖然突破平台期的時間比C2晚(2月17日才動，但最終同樣在2月18日達到5片。C3(綠線)：前期生長正常(2月7日達到2片)，但在2月14日數據歸零，樣本失效。



圖十七 D組(軟水樹脂15%) 紅豆葉片生長數量折線圖

因為D組有一顆紅豆在觀察期間遭到破壞，上圖是以每盆的最大值作為代表，計算每株生長期間的斜率，D1斜率0.25、D2斜率0.25、D3斜率0.18，D組平均斜率0.23。D1&D2(深紫/深藍線)：這兩株的生長軌跡完全重合。它們都在2月7日長出前2片葉子，並經歷了長達9天的平台期，隨後在2月17日開始快速增加，最終於2月18日達到5片。D3(橘棕線)：前期發育與D1、D2同步，但在2月14日數據歸零(與高度數據一致，顯示該樣本在當天失效)。

五、不同廢棄軟水樹脂混合比例對土壤狀況的影響。

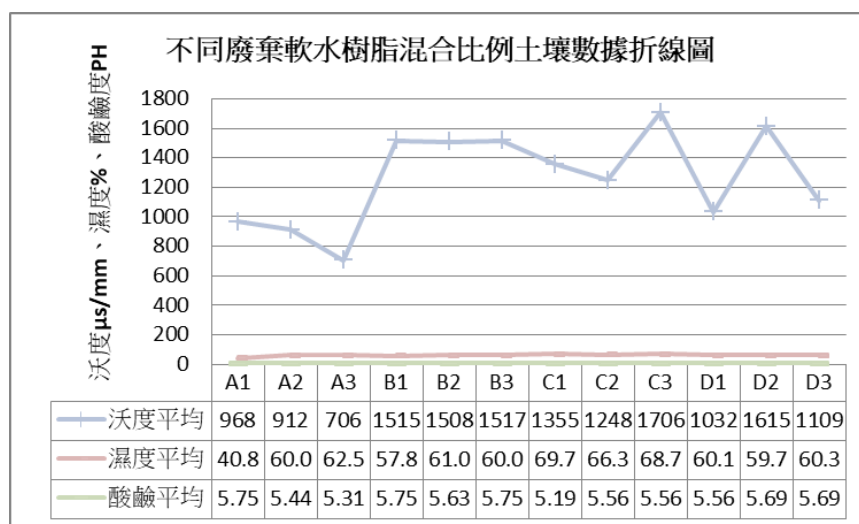
我們透過種紅豆來檢視不同比例廢棄軟水樹脂的添加，對保水度以及對植物生長的影響。但是因為不同的植物適合的土壤環境不同，所以我們想要更進一步了解不同比例廢棄軟水樹脂的添加對於土壤狀況的影響，這樣也可以給日後要種不同植物時做適當選擇的參考。

我們使用園藝用的電子六合一土壤檢測器來檢視土壤的狀況，我們記錄檢測數值包括沃度(導電度)、濕度、酸鹼度三種，從2月13日至2月22日，其中有2天因為大家都無法到學

校檢測，所以總共紀錄了8天的土壤數據進行分析。

表十一 不同廢棄軟水樹脂添加比例土壤狀況數據表 單位：(沃度 $\mu s/mm$ 、濕度%、酸鹼度PH)

		A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3	D1	D2	D3
2月13日	沃度	45	632	490	679	549	814	756	773	763	500	799	714
	濕度	38	62	65	58	63	58	60	76	62	58	72	69
	酸鹼度	6	5	4	6	5.5	6	5.5	5	6	5.5	6	6
2月14日	沃度	3000	930	935	3000	3000	3000	3000	3000	3000	918	3000	1464
	濕度	58	66	68	82	92	85	67	98	78	58	62	63
	酸鹼度	5.5	5.5	5.5	5.5	5	5	5.5	5	5.5	6	5.5	5.5
2月15日	沃度	919	900	798	2309	2230	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
	濕度	56	62	55	56	57	62	99	74	99	74	62	62
	酸鹼度	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	3.5	5.5	4.5	5.5	5.5	5.5
2月17日	沃度	846	1702	860	1042	947	2784	948	848	1134	917	2507	935
	濕度	21	59	58	56	74	57	99	63	85	60	60	57
	酸鹼度	5.5	5	5	5.5	5	5.5	4	5.5	5	5.5	5	5.5
2月18日	沃度	867	890	628	906	855	14	768	619	1035	853	793	785
	濕度	30	82	86	57	56	63	56	55	55	78	44	53
	酸鹼度	6	5	4.5	6	6	6	6	6	6	4	6	6
2月20日	沃度	633	725	444	670	787	861	786	654	876	539	799	565
	濕度	14	44	61	44	53	51	77	56	55	51	59	49
	酸鹼度	6	6	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6
2月21日	沃度	522	696	551	521	702	722	652	628	842	688	629	481
	濕度	58	56	52	50	40	50	48	55	55	48	57	56
	酸鹼度	5.5	5.5	6	5.5	6	6	6	5.5	5.5	6	5.5	5.5
2月22日	沃度	912	822	941	3000	3000	947	937	467	3000	848	1398	933
	濕度	52	49	55	60	53	54	52	54	61	54	62	74
	酸鹼度	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5.5
沃度平均		968	912.13	705.88	1515.88	1508.75	1517.75	1355.88	1248.63	1706.25	1032.88	1615.63	1109.63
濕度平均		40.88	60.00	62.50	57.88	61.00	60.00	69.75	66.38	68.75	60.13	59.75	60.38
酸鹼平均		5.75	5.44	5.31	5.75	5.63	5.75	5.19	5.56	5.56	5.56	5.69	5.69



圖十八 不同廢棄軟水樹脂混合比例土壤狀況數據折線圖

(一)沃度(導電度)

表十二 各組平均沃度分析表

組別	平均沃度 $\mu s/mm$	穩定性	表現評價
A 組	862.0	低 (持續下降)	肥力表現最差

B 組	1513.3	極高	最理想的穩定肥力組
C 組	1436.3	極低 (劇烈跳動)	具備最高峰值，但不穩定
D 組	1252.0	低 (起伏不定)	表現中等，持久性差

從以上的數據分析可知A組(軟水樹脂0%)：沃度普遍偏低，多維持在 500-900 之間。雖然2月14日A1曾衝上 3000，但隨後迅速回落，是四組中肥力供應最弱的一組。B組(軟水樹脂5%)：表現強勁。B1、B2、B3在2月14日全數達到 3000，且B1、B2在2月22日再次回升至 3000。這代表B組配方案具有較強的肥力釋放能力。C組(軟水樹脂10%)：雖然在 2月14、15日維持了長時間的3000高位，但 2月18日後出現明顯下滑。C3在2月22日又重回 3000，顯示其肥力釋放不夠均勻。D 組(軟水樹脂15%)：表現介於A與B之間。2月14、15、22日都有單點衝高至3000 的紀錄，但整體均值略遜 B 組。

(二)濕度

A組(軟水樹脂0%)：濕度波動極大，2月20日曾掉到14% 的極低點，保水穩定性較差。B組(軟水樹脂5%)：保水性最佳。2月14日B2達到92%，多數時間維持在50%-60% 以上，適合需要穩定水分的環境。C組(軟水樹脂10%)：具有最高的瞬時含水量（多次出現 99%），但水分流失也快。D組(軟水樹脂15%)：濕度表現最為中庸，大多穩定在 50%-70% 之間，沒有出現A組那樣的極端乾燥情況。

(三)酸鹼度

全組別的 pH 值大多分布在 5.0至6.0之間，屬於弱酸性土壤。四組的pH值都非常穩定，基本維持在5.5或6.0。比較奇怪的異常點：A3在2月13日出現過 pH 4.0。C1在 2月15-17日 降至 pH 3.5-4.0。D1在2月18日降至pH 4.0。但是到實驗後期（2月20日以後），所有組別幾乎全部統一穩定在 pH 5.5 - 6.0，顯示不同廢棄樹脂混合比例最終都讓土壤酸鹼度趨於一致。

六、廢棄軟水樹脂多水少的比例栽種水培植物會成功嗎？

我們在2月11日分別以實驗組(軟水樹脂1450g+水550g)及對照組(水2000g)栽種黃金葛，直到2月21日。放置在學務處內期間年假為密閉教室，每組各2株，每株5葉。

日期	實驗組	對照組
115年2月11日		
115年2月21日		
2月21返校觀察發現 黑葉		
2月21返校觀察發現 長出根		
2月21返校觀察發現 長個長出一個嫩芽1.5cm		

10天的期間，無論是實驗組或對照組均出現一葉黑葉，葉子數量均無改變，且都長出根和嫩芽，但是對照組的根長出比較多和比較長。但也顯示出以廢棄軟水樹脂多餘水的比例栽種水耕植物是可行的。

伍、討論

一、不同廢棄軟水樹脂混合比例對於土壤保水性是否會隨比例提高？

我們透過觀察重量（公克）的變化規律來分析A、B、C、D四組的保水狀況。土壤或混合介質的重量下降主要源於水分蒸散，因此重量下降越緩慢、維持重量越高的組別，其保水性越佳。三循環的實驗中，B組(軟水樹脂5%)雖然失水最快，但起始重量，與結束重量。

始終保持最高重量，表示其結構中能夠容納更多的水，展現最初強大的持水能力，但是後續水分流失也是最快的。

綜合三次循環的實驗，我們可以知道結果顯示：C 組(軟水樹脂10%)與 D 組(軟水樹脂15%)雖具備優異的初期保水效能，但其耐用度較差，隨實驗次數增加，保水率分別下降了21.6% 與 28.3%。相比之下，A 組(軟水樹脂0%)展現了更佳的穩定性；而 B 組(軟水樹脂5%)在經歷波動後，於第三階段展現出極高的效能維持率（98.6%）。所以不同的使用時間，會有不同的適用比例。

二、不同廢棄軟水樹脂混合比例對植物生長會有影響嗎？

(一)對生長高度的影響

我們取各組中生長最穩定、數據最完整的樣本(A1, B1, C2, D2)進行 20 天的平均斜率對照：

組別 (樹脂濃度)	代表樣本	最終高度 (cm)	平均斜率 (cm/day)	生長特性觀察
A 組 (0%)	A1	18.0	0.90	基礎對照組，生長平穩。
B 組 (5%)	B1	22.0	1.10	生長表現最佳，斜率最高。
C 組 (10%)	C2	21.0	1.05	表現優異，與 B 組接近。
D 組 (15%)	D2	20.0	1.00	生長尚可，但速率開始回落。

整體而言，最佳濃度區間：根據斜率分析，5%~10% 的軟水樹脂濃度 最有利於紅豆生長。其中 5% (B1) 的斜率 1.10 為全實驗最高。低濃度 (0%)：生長速率較慢，顯示適量的軟水樹脂可能提供了更好的水質或環境。高濃度 (15%)：斜率從 B 組的 1.10 下降至 1.00，表示濃度過高可能反而產生抑制作用。紅豆生長速度與軟水樹脂濃度呈現「鐘形曲線」關係：生長速率：5% > 10% > 15% > 0%這說明軟水樹脂對生長有促進作用，但並非越多越好，5% 濃度 是本次實驗中的黃金比例。

(二)對葉片生長數量的影響

1、生長上限的穩定性：A、B、C、D 四組，健康的植株最終葉片數幾乎都鎖定在 5 片，且 D 組（15%）的健康樣本在發育節奏上展現了最高的一致性。

2、平台期的規律：D 組的平台期（維持 2 片葉子的時間）出現在 2/7~2/16。這段時間植物可能在進行根系發育或適應高濃度的樹脂環境。

綜合實驗結果，我們將紅豆生長高度以及葉片數量的結果作一比對表如下：

組別 (樹脂濃度)	最終高度 (cm)	高度平均斜率 (cm/day)	最終葉片數	葉片增加斜率 (片/day)	綜合評價
A 組 (0%)	18.0	0.90	5	0.25	對照基準：生長最慢，但發育完整且穩定。
B 組 (5%)	22.0	1.10	5	0.25	生長冠軍：高度成長最快，發育力道最強。
C 組 (10%)	21.0	1.05	5	0.25	表現優異：僅次於 B 組，環境適應性良好。
D 組 (15%)	20.0	1.00	5	0.25	邊際遞減：高度成長開始放緩，濃度可能過高。

綜合以上面生長高度以及葉面生長數量的討論，我們可以發現不同廢棄軟水樹脂混合比例對於紅豆生長高度的影響遠大於葉片數量，葉片數量幾乎是沒有明顯的差異。

三、不同廢棄軟水樹脂添加比例，對土壤狀況的影響。

(一) 沃度狀況分析

A組(低位平穩型)：沃度普遍偏低，多維持在500-900之間。對照在文獻回顧時的資料，平均濕度50%以上， $0.5\sim 0.9\mu\text{s/cm}$ ，屬於肥力偏低的土壤狀態。

B組(高強效型)：表現強勁。B1、B2、B3 在2月14日全數達到3000，且B1、B2在2月22日再次回升至3000。這代表B組配方具有較強的肥力釋放能力。文獻回顧中表示，平均濕度50%以上， $2\sim 4\mu\text{s/cm}$ ，是最適合植物生長的土壤狀態。

C組(極端波動型)：在2月18日後出現明顯下滑。C3在2月22日又重回3000，顯示其肥力釋放不夠均勻。

D組(中規中矩型)：表現介於A與B之間。但整體均值略遜於B組。

(二) 濕度狀況分析

A組：濕度波動極大，2月20日曾掉到14%的極低點，根據第一個混合材料保水性實驗結果

分析，這種單點下降的狀況，極可能是澆水時的失誤，漏澆A組其中一盆所導致。

B組：保水性最佳。2月14日B2達到92%，多數時間維持在50%-60%以上，適合需要穩定水分的環境。

C組：具有最高的瞬時含水量（多次出現 99%），但水分流失也快，屬於「高吸水、高變動」類型。

D組：濕度表現最為中庸，大多穩定在50%-70%之間。

(三) 酸鹼度狀況分析

全組別的pH值大多分布在5.0至6.0之間，屬於弱酸性土壤。四組土壤在酸鹼度上呈現了穩定性，雖然曾經出現過幾個異常點：A3在2月13日出現過pH4.0、C1在2月15-17日降至pH 3.5-4.0。D1在2月18日降至pH 4.0，等較酸的狀況，但是到實驗後期，所有組別幾乎全部統一穩定在pH 5.5-6.0，顯示不管哪種濃度的廢棄樹脂最終能讓土壤酸鹼度趨於一致。都是適合大部分植物生長的弱酸性土壤。

四、廢棄軟水樹脂多水少的方式栽種水培植物會成功嗎？

在這個實驗中，我們主要想試試看廢棄的軟水樹脂除了對土培植物的影響之外，對於水培植物呢？我們使用家中常見的黃金葛這種可以水培的植物，並以29:11(軟水樹脂:水)的配分為實驗組及全部是水為對照組。我們從葉片生長、根的生長狀況，進行討論比較。

(一)葉片生長狀況

無論是實驗組或對照組，都出現了其中一片最大的葉子變黑的情況，經過資料查詢檢討原因，可能是因為年假期間，放在室內的黃金葛空氣不流通，且缺乏日照而造成的。除了黑葉之外，每株5片葉子都是完好的，並且都有冒出一個新芽點。長度都大約1.5cm，其中實驗組顏色較對照組白。

(二)根部生長狀況

4株黃金葛都是從同一母株上剪下來，都沒有根，2月11日種下之後開始觀察，2月21日發現均已長出根，根部長度及數量，都是以全水栽培的對照組較多，但是實驗組也有長出根，且是有次序的一段間隔長出一支根，跟對照組長成一叢的根很不一樣，是否是營養不同等因素造成，要再進一步實驗才能得知。不過這個初步的實驗結果可以知道，以高比例的廢棄軟水樹脂加水來代替全水培，以減少積水容器病媒蚊孳生的構想，是可以成立的。只是怎樣的比例是最佳模式，需要進一步的實驗才能得知。

陸、結論

一、不同廢棄軟水樹脂混合比例對於土壤保水性是否會隨比例提高？

經過研究討論後，我們可以得到以下結論：

(一)土壤的保水性並不與廢棄軟水樹脂混入培養土的比例呈正相關，而是有適當的混合比例，才能呈現最佳的保水性及穩定度。

(二)A組(軟水樹脂0%)呈現最穩定的水分遞減曲線。

(三)較高軟水樹脂比例組別(10%、15%)初始的保水性加，但耐用性差，表示這樣的較高比例的混合土在幾次吸水過後，土壤與樹脂之間的空隙已不利於持水。

(四)最佳保水配方：B組(5%)。展現了最強的保水潛力。雖然每日流失量也大，這代表它不僅能鎖水，也具備良好的水分交換效率。

二、不同廢棄軟水樹脂混合比例對植物生長會有影響嗎？

(一)不同廢棄軟水樹脂混合比例對植物生長影響主要在於生長高度的影響，而葉片生長則無影響。

(二)「適量的軟水樹脂（5% - 10%）能顯著提升紅豆的每日生長高度斜率，其中以 5%濃度的促進效果最為明顯。

三、不同廢棄軟水樹脂添加比例，對土壤狀況的影響。

(一)土壤沃度而言，B組(軟水樹脂5%)最佳選擇，它提供了最高且最穩定的沃度表現。

(二)以土壤溼度而言，B 組(軟水樹脂 5%)最佳選擇，濕度維持最穩定。

(三)土壤的酸鹼度不會受到不同比例廢棄軟水樹脂混合而有所影響。

四、廢棄軟水樹脂多水少的方式栽種水培植物會成功嗎？

(一)以高比例廢棄軟水樹脂製成水培植物環境，黃金葛可以順利長芽及生根。

(二)這樣栽種方式的健康程度及植物持久度需再進一步探討。

(三)以高比例廢棄軟水樹脂加水培植物，可以解決全水培製造出積水容器的問題。

陸、參考資料

Haier 淨水網頁(2023 年 9 月 18 日)。取自 <https://www.haierpro.com.tw/article-20230918/>

台灣公衛學生聯合會(2021 年月 1 日)。科普小學堂/環境的魔鬼-微塑顆粒。取自

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%A3%BA%E9%85%B8%E5%9F%BA>

京城淨水淨水小知識(2020 年 10 月 27 日)。取自

https://cp-water.com.tw/paper/share_index.php?title_id=2434#left_page

陶氏化學實用及軟水樹脂規格書。取自 <http://www.lmshuzhi.com/product/dow/521.html>

黃瑞彰(2021 年 8 月 18 日)。土壤健康與植物營養診斷。取自

https://kmweb.moa.gov.tw/theme_data.php?theme=news&sub_theme=agri_life&id=55029
維基百科(2024 年 11 月 26 日)。磺酸基。取自

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%A3%BA%E9%85%B8%E5%9F%BA>
環境部飲用水全球資訊網(2021 年 8 月 18 日)。淨水器的種類及設置時機。取自
https://dwsiot.moe.gov.tw/articlepage_other/33