

投稿類別：農業類

篇名：

省水大作戰，回收水再利用

作者：

古鎮瑋。台北市立松山高級工農職業學校。園藝科三年級智班

吳仲堃。台北市立松山高級工農職業學校。園藝科三年級智班

謝秉叡。台北市立松山高級工農職業學校。園藝科三年級智班

指導老師：

康繼文老師

李家發老師

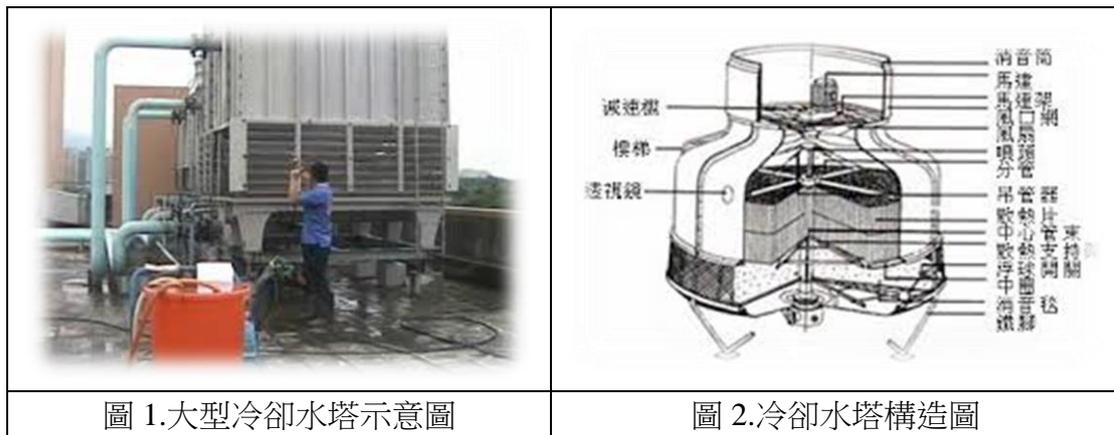
壹●前言

一、研究動機

臺灣地區降雨豐沛，年平均雨量是世界平均值的 2.6 倍，但由於降雨季節集中，加上河川陡急而流失迅速，使得可供使用的水資源尚不及總降雨量的 15%，每人每年平均分配到的用水量僅及世界平均值的六分之一左右，屬於低水資源利用潛能的國家。

由於臺灣水價相對便宜，因此常常不被業者或消費者珍惜。根據統計，新竹科學園區在 2004 年時每日用水量預估達 17.5 萬噸，且僅僅在最近兩年半的時間內，用水量成長率即高達 92%。其中空調用水約佔園區總耗水量的 40~45%，因此冷卻水塔(圖 1.)的耗水問題也就相對的較為嚴重。(註一)

本研究團隊思考如果這些空調廢水能夠有效利用為景觀植物用水，那麼就可以減少水資源的浪費了。



二、研究目的：

- (一) 了解冷卻水塔之節水與節能的關連性
- (二) 了解空調廢水的處理方式與添加物
- (三) 了解空調廢水於植栽澆灌上的應用

貳●正文

一、冷卻水的介紹

(一) 冷卻水是甚麼？

冷卻水塔(圖 2.)利用自來水在水塔頂部通過管道向下噴洒，從而有利於氣流流動，加速水的降溫。冷卻水塔運作過程中會因為蒸發、排放以及飛散等因素會造成循環水的損失。損失的水量會透過補充水補入冷卻水塔以確保系統安全運轉(註一)。

(二) 冷卻水處理方式種類？

一般工廠的冷卻水塔多採用自來水作為補充水的水源，或收集低污染的製程排放水搭配化學加藥法以作為補充水的替代品。添加的藥劑種類視水質而定，主要可避免冷卻水塔系統發生結垢或是鏽蝕。常見的處理方法有下列幾種

1. 化學處理法(圖 3.)：

冷卻水塔常添加抗垢劑如有機磷酸鹽(Organo-phosphates)或硫酸以降低循環水之 pH 值，可將水中的重碳酸鈣($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$)轉換成溶解度較高之硫酸鈣，同時也能減少不溶解物質的量。循環水呈現低 pH 值，可添加腐蝕抑制劑，例如磷酸鹽、矽酸鹽、鉬酸鹽等，以抑制金屬的腐蝕。

當水質含藻類(algae)、黏泥(slime)、菌類(bacteria)及真菌(fungi)等，易引發菌藻污塞，促使結垢及腐蝕問題更加惡化，同時會導致冷卻水塔壓降及熱傳效率不良，此時必須添加滅菌劑或除藻劑，例如、次氯酸鈉(NaOCl)、二氧化氯(ClO_2)等。(註二)



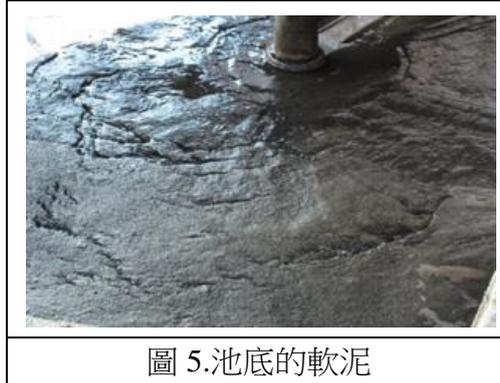
圖 3.以化學藥劑清洗冷卻水塔



圖 4.臭氧消毒設備

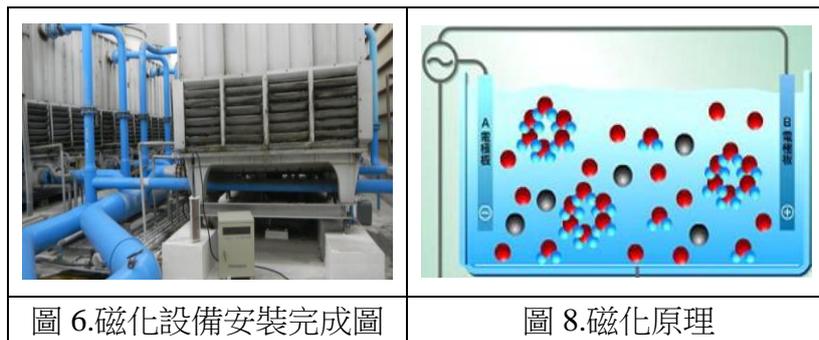
2. 臭氧處理法(圖 4.)：

臭氧處理法防止結垢的原理，主要是將循環水中之硬度物質(鐵、錳、鈣、鎂等)產生鈍化反應，以軟泥(圖 5.)的型態沉澱在冷卻水塔底池中，這些軟泥很容易經由過濾器而被濾除，並不會黏著於循環系統之管壁表面；此外，臭氧也具有排除水塔中既有水垢之功能。臭氧處理法也能氧化引發腐蝕的離子，達成系統防腐蝕的效果。除了抗垢抑制腐蝕，臭氧亦能破壞病毒和細菌的細胞膜，有效抑制循環水中微生物的滋長，以及避免產生生物垢，但臭氧設備成本較高(註二)。



3. 磁化法(圖 6.):

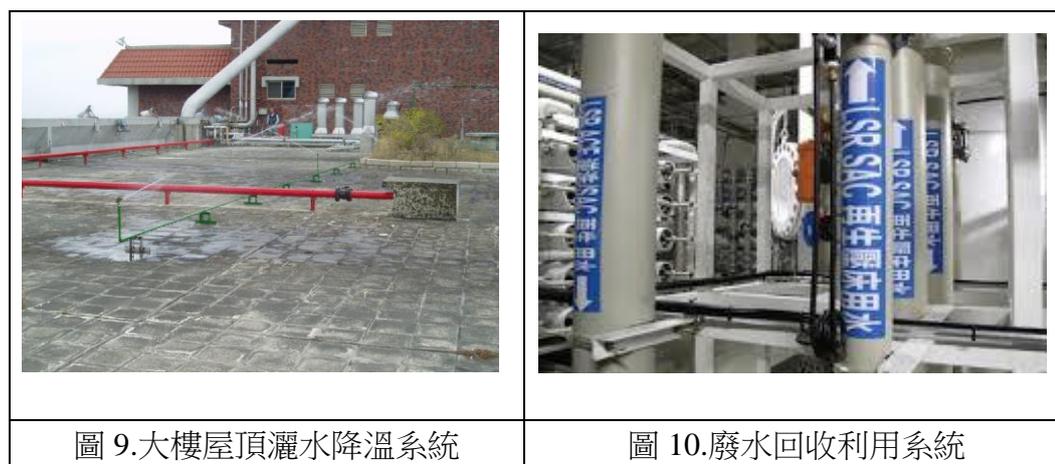
該技術之所以能在不加藥之前提下使冷卻水塔循環系統不發生結垢，其主要之機制 為利用夾管式的磁化設備(圖 7.)，該設備擁有強大的磁力(最大磁力可達 80,000 高斯)，其強大的磁力可穿透 10mm 厚之鋼管，藉由其強大磁力的作用，將管線內水體中之正電荷離子諸如 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Si^{4+} 等的價電位改變，而被強迫改變為負電荷，以致失去與水中之陰離子諸如 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 、 O^{2-} 等結合的能力(圖 8.)。藉由同性相斥因而避免結垢發生。在不發生結垢之前提下，該股循環 H_2O 分子會因熱交換過程而發生蒸發現象，但水中之離子並不會隨著 H_2O 分子一同蒸發，以致該股水中離子濃度越來越高，導電度值也隨之提高。但由於該設備強大磁力作用使管線內不發生結垢，因此導電度值即使在 4,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以上也不須因擔心結垢而必須強制排水，因而提升節水效率。(註三)



二、目前大樓冷卻廢水的應用方式

大樓冷卻廢水多直接排入污水管，亦有進入大樓屋頂灑水降溫系統(圖 9.)或收集後進入中水系統以用來沖洗地板或馬桶(圖 10.)。

就我們所收集的資料而言，並沒有使用於園藝植栽的使用，推測是冷卻水塔的廢水中含有大量的化學藥劑或是離子，對於植物的根系生長會有阻礙抑制的效果，因此我們將進行實驗嘗試印證這個假設。



三、綠屋頂與綠牆介紹

1.綠屋頂(GreenRoof) (圖 11.)：

將建築物的屋頂、露台、陽台等進行綠化，以達到隔熱降溫、節能減碳、淨化空氣以及美化的功能。因為台灣的建築物大多都是用鋼筋水泥製成，因此往往一到天氣炎熱的日子，頂樓會像烤爐一樣，熱到受不了，綠屋頂就是其中一種方式可以降低水泥屋頂表面的溫度(約 15~30 度不等)。

而且可以藉由綠屋頂來彌補因為開墾建築所用掉的綠地，一來可以淨化空氣，也能達到降溫、美化、教育之意義。而聯合國環境計畫研究指出，當綠屋頂率達 70% 時，整個城市的 CO₂ 含量將減少 80% ，而熱島效應將完全消失(註四)。



圖 11.綠屋頂實際圖

2. 綠牆：

與綠屋頂相似，於建築物的垂直牆面進行綠化，又稱垂直綠牆、植栽牆或生態牆，從傳統平面式的花園、花圃轉成垂直向的牆面綠化，以有效阻絕太陽輻射熱對牆的直接照射、降低噪音、美化牆面增添文藝氣息豐富建築物的表情及提升市容美觀。

3. 綠牆的形式：

(1.)懸垂植物綠簾式：(圖 12.)

利用植物匍匐茂密叢生狀的特性，以盆栽垂吊模式去呈現，常見植物材料如炮竹紅。

(2.)蔓藤植物攀爬式：(圖 13.)

透過搭建棚架的模式誘導植物的攀爬，常見植物材料如九重葛，黃金葛，百香果或瓜類植物。

(3.)蔓藤植物吸附式：(圖 14.)

無須特別管理，任其隨意吸附攀爬，常見植物如爬牆虎。



4. 綠屋頂的形式

- (1). 盆鉢式綠屋頂：使用各種盆槽容器種植植物，無技術難度。
- (2). 花架式綠屋頂：屋頂設立花架供爬藤類植物與蔬果攀附，植物根部可置於盆槽容器內，無技術難度，而且整體重量較輕。
- (3). 薄層綠化（輕質土壤厚度在 15cm 以下）可分如下：

- (1) 拓展型(圖 15.)

應用於較大面積的屋頂，如：公司行號、政府機關等。

- (2) 密集型(圖 16.)

篇居家型的屋頂花園

- (3) 屋頂農場(圖 17.)

適用範圍不拘，既能綠化屋頂，也能配合都市小田園計畫



五、冷卻廢水對植物生長的影響

(一) 材料與方法

1. 植物材料：本實驗使用斑葉馬齒莧(*Portulacaria afra* f. *variegata*) 作為實驗材料，馬齒莧具有耐熱、耐旱等特性，常用於綠屋頂或是植生綠牆等綠化應用，因此選用斑葉馬齒莧作為本次實驗的材料。

2.實驗流程：分為實驗組以及對照組兩種處理，每種處理各 3 株。對照組每 2 天澆灌一次自來水，實驗組則澆灌空調廢水。每次澆水前觀察植株的生長狀況，並測量開花數以了解空調廢水對植株生長的差異。

(二)實驗結果

斑葉馬齒莧澆灌空調廢水後第 10 天，實驗組的斑葉馬齒莧的花朵數隨著澆灌次數逐漸減少，而對照組的花朵數與澆水並無明顯對應關係(圖 19.)。實驗組植株的生長狀況顯示，澆灌空調廢水的植株其生長勢較弱，枝條較不開展，但這個趨勢需要進一步的觀察以及紀錄才能確定(圖 18.)。



圖 18.以空調廢水澆灌對斑葉馬齒莧(*Portulacaria afra*)生長的影響

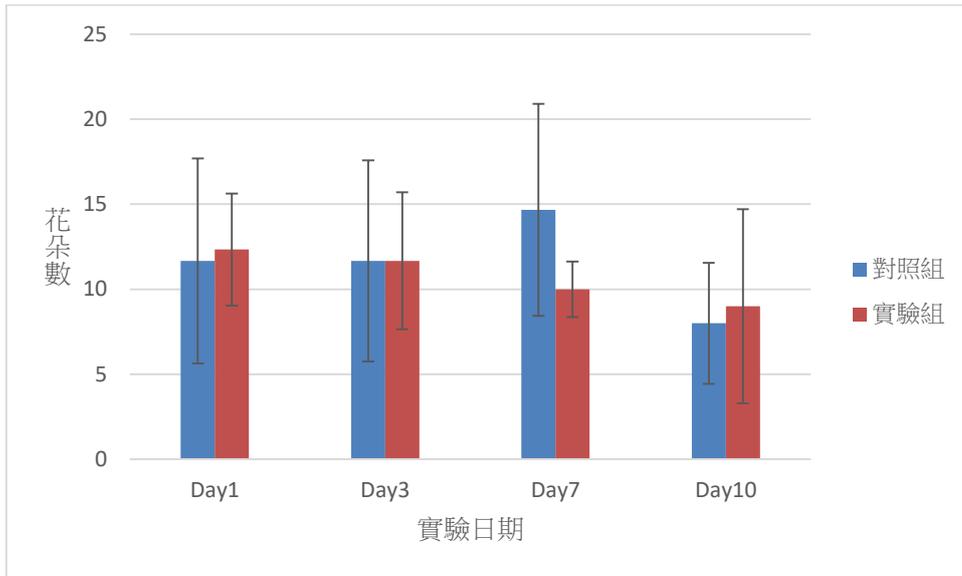


圖 19.以空調廢水澆灌對斑葉馬齒莧(*Portulacaria afra*)花朵數量的影響

參●結論

隨著全球暖化引發的氣候變遷效應，聯合國於 2007 年所發表的全球報告已向世人警告，至 2050 年全球 1/3 的人類將因缺水而變成難民。為因應水資源的缺乏，節水技術已在各國受到重視，且國際間的財經專家將廢水回收及海水淡化，視為本世紀的藍金產業(註三)。

由於國內事業單位之冷卻水塔的用水量 約占整個事業單位總用水量的 20%~50%，若冷卻水塔之節水技術能於國內廣泛推廣，將可為我國節省下可觀的水資源(註一)。

以空調廢水澆灌斑葉馬齒莧，對於馬齒莧的花朵數會有減少的現象，但與對照組相比，兩者的花朵數並無明顯差異(圖 19.)。但空調廢水會造成斑葉馬齒莧的生長勢弱化，枝條較不開展，推測可能是廢水中的高濃度離子會造成植株的根部傷害(註五)，使得植株會產生類似缺水的症狀(鹽害逆境)。顯示空調廢水若未經過進一步的處理，長期用於植物灌溉，恐怕會影響植物的生長表現。

本次研究僅調查植株的開花狀況並未將植物的生長勢進行數據紀錄與整理，未來會進行更精確的植物實驗設計，並研發空調廢水的過濾裝置，期望能將回收的空調廢水應用於園藝作物栽培上，以達到節水的目的。

肆●引註資料

註一：郭伎煒 (2006)。冷卻水塔用水管理於工業節水之實務應用。經濟部工業局，2017年10月6日，取自

http://ebooks.lib.ntu.edu.tw/1_file/moeaidb/013304/b14.html

註二：李靖南 (2005)。臭氧應用於冷卻水塔-亞東氣體 400 RT 實例。愛樹科技，2017年10月6日，取自

http://www.recyclesources.com.tw/usersite/70753994_index.html?sysid=6361

註三：林村豐 (2009)。冷卻水塔節水實務技術。綠基會通訊，5-9。

註四：十益有限公司 (2010)。綠屋頂。2017年10月6日，取自

<http://www.solarroof.com.tw/Green-Planting.html>

註五：宋芬玫、謝素芬 (2014)。基礎園藝。台南市：復文。