

臺北植物園方舟溫室群植栽養護方程式—

智慧農業IoT 技術×省工節水自動滴灌×節能LED補光 = 植物之美
垂直綠牆 + 多樣棲地仿生濕牆

李俊緯^{1*}、許天銓¹、林謙佑¹、董景生¹

「國家植物園方舟計畫」最重要的核心工程正是臺北植物園方舟溫室群，歷經4年的設計建造工期、順利在2022年下半年完成溫室群主體結構建置，加上後續智慧環境控制等優化作業，與植栽進場、景觀營造與佈置測試等流程，近期即將以嶄新的風貌迎接遊客到訪。方舟溫室群的設置牽涉建築工法、生

物環境控制、植群生態、及園藝景觀綠美化等多層面的專業知識與技術，一座充滿前衛科技感的玻璃溫室裡頭，到底埋藏了多少維持這些重要植栽良好生長的秘密呢？現在就帶領您一起來解構「臺北植物園方舟溫室群植栽養護方程式」。



圖1 「國家植物園方舟計畫」最重要的核心工程正是臺北植物園方舟溫室群，相片右側尖頂溫室為水牆風扇系統降溫型溫室，從入口處即可一覽其內部高達5.6公尺的垂直綠牆 (李俊緯 攝)

¹⁾ 林業試驗所森林生態組

* 通訊作者 (hululee@tfri.gov.tw)

一窺方舟溫室群的環境控制系統

坐落臺北市中正區的臺北植物園，夏季有亞熱帶氣候及都市熱島效應共構典型高溫濕熱天氣，園區內的溫室設施首重降溫系統的設計，冬季陰濕的東北季風吹拂下，合宜的保溫系統與人工補光照明設施也不可或缺。此外，為強化水資源永續利用以及省工節能的環保理念，垂直綠牆導入全時自動滴灌與液體肥料供肥系統，並搭配光度監測與自動照明設備，提供超過180株各類植株最細緻的照養條件。以下就針對方舟溫室群的硬體環境設計及優化的環境控制系統，逐一說明介紹：

* 水牆風扇降溫系統 (Fan and pad cooling system)

方舟溫室群的外部透光層乃採用氣密性極高的中空複合隔熱玻璃，因此創造出內部完整的氣密空間，當水牆另一側的風扇啟動時，所有進入溫室內的空氣僅能先經由水牆的孔隙，此時水分蒸發由通過的熱空氣中吸收潛熱，達成空氣降溫的效果。方舟溫室群的水牆風扇降溫系統運作，僅需啟動2具54吋、各800W的負壓式風扇，加上水牆冷水循環沈水馬達運作，每小時總用電量低於2KW，即能將面積189平方公尺(約57坪)的水牆溫室內的氣溫控制在比戶外氣溫低5-9度的差異，實為高度省能的降溫設計。

* 中空複合隔熱玻璃

根據本案的設計建築團隊田中央工作室以及營造廠商提送的玻璃光學分析數據，得知方舟溫室群採用的玻璃材質厚度達33毫米，為3層中空複合隔熱玻璃，本身具有0.43遮蔽係數(SC; Shading Coefficient)與44%的可

見光透過率(VLT; Visible Light Transmission)；其中遮蔽係數代表玻璃材質對建築外部耗能的影響程度，其定義為受測玻璃材質的日射透過率 η ，與標準厚度3 mm透明玻璃日射透過率 η_s (一般基準為0.88)的比值。遮蔽係數越低代表玻璃阻擋外部熱能進入溫室能量越少，換言之，本案選用的中空複合隔熱玻璃較傳統標準玻璃溫室能減少接近6成的日射透過率，更能有效減緩夏季烈日照射下產生的溫室效應。此外，同款玻璃具有可見光穿透率44%的特性，保留了近半的太陽可見光穿透上方格柵後再射入溫室內部，營造自然風格十足的斑光疊影溫室。

* LED植物照明系統

為了解決臺灣北部冬季陰濕的東北季風氣候，自然光照時數及光度明顯不足的困境，並營造出高光度明亮的觀賞環境及全日照植栽的生存條件，方舟溫室群內部安裝了22具240瓦全光譜的LED植物天井燈，透過即時光度IoT設備監測，並輔以積木程式運算並啟閉LED植物天井燈的最宜時機。特別值得一提的是，為呈現垂直綠牆上方的觀葉雨林植物翠綠原色，以及仿生濕牆岩壁溫潤紋理色澤，本案規劃了2種不同顯色性的LED全光譜植物天井燈，其光譜分析圖譜請參見圖2及圖3。

* 省水自動滴灌系統 (Netafim drip irrigation system)

考量水牆風扇內的垂直綠牆高度將近6公尺，上方共栽植超過180株的多樣物種，定期灌溉澆水及施用肥料等作業，勢必增加現有園丁工作負荷；因此，設定一套省工節水的自動灌溉系統、搭配液體肥料稀釋供肥系統實有其必要性。經過評估國內坊間多家不同灌

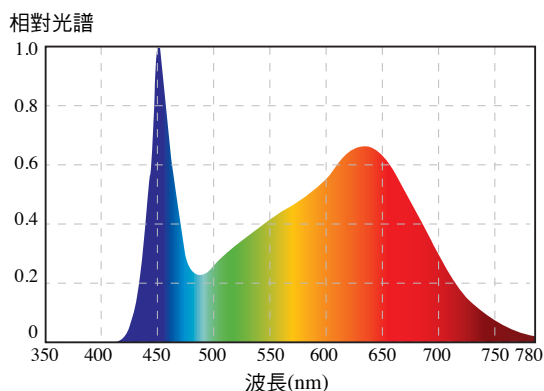
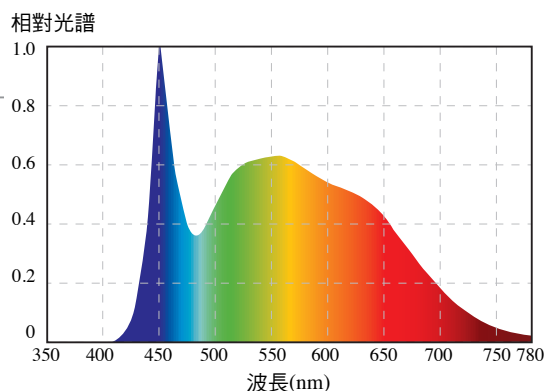


圖2 方舟溫室群選用了2種不同顯色性的LDE全光譜植物天井燈，其中第二波峰為550nm顯色偏白光的天井燈用於襯出垂直綠牆觀葉雨林植物翠綠原色(左圖)，其它各區域則以第二波峰為635nm、色澤溫潤淡粉的光譜為主(右圖)(李俊緯 提供)

溉系統的優劣特性後，垂直綠牆選用了以色列耐特菲姆公司 (Netafim) 出產的穩壓滴灌與箭形滴片給水系統，期能建立一套結合灌水及肥培的省工節水系統。

本套滴灌系統已在2022年底完成設置，經過長達6個月的測試調整後，目前夏季每天啟動灌溉的時間為6分鐘，每分鐘供水量為33.3 c.c.，換算後整面綠牆180株植物每天用水量僅35公升，依這個標準推估夏季每個月的用水量約1度水量，即可滿足綠牆上的植株，安然度過炎炎烈日與屢創高溫的嚴苛環境。

* 人工噴霧加濕系統 (Greenhouse misting or fogging systems)

為滿足部分雨林植物對濕度的要求，方舟溫室群內部均設有高壓噴霧加濕系統，除增加溫室內部的相對濕度外，也能吸收空氣中的熱能達到降溫的效果。這套園藝栽培產業或公共開放空間商家常見的加濕降溫系統，在人工空調設備降溫的封閉環境內更有其必需性，諸如溫室群的低溫冷房及隔離溫室，透過人工噴霧加濕系統，即可彌補因空調長時間運作、導致內部空氣濕度偏低的狀況，特別是偏好空氣濕度的物種。

* 低溫冷房空調系統

方舟溫室群除了最東側的長型溫室採用水牆風扇降溫設計以調整內部溫度外，另外2棟面積不到10坪的低溫冷房與隔離溫室均屬封閉獨立個體，內部均設置3具變頻空調控制所需溫度，以符合中、高海拔或溫帶地區引入的植物所需的冷涼溫度。由於這2棟以人工空調控溫的溫室面積遠小於水牆風扇溫室的面積 (57坪)，且其外部的玻璃材質亦為中空複合隔熱玻璃，能阻隔大多數熱能導入，加上低溫冷房溫室有三個立面被水牆風扇溫室完整包覆，因此，人工空調運作所需要的電力均在可接受的範圍之中。

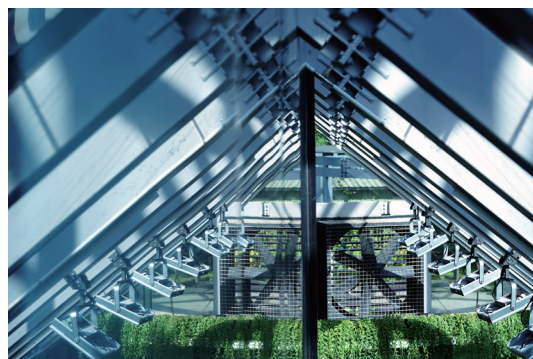


圖3 方舟溫室群內部共新增22具240瓦全光譜的LED植物天井燈，補足北部冬季光線不足的問題，亦提供更明亮飽合的觀賞情境(李俊緯 攝)

原生物種近七成的垂直綠牆 頂天立地之姿堆疊植物美感

垂直綠化即垂直綠牆或垂直花園 (Vertical Greening; Green Wall; Vertical Garden)均為充分運用有限的水平地面空間，導入各式活體植栽元素達到環境綠美化的一種園藝栽培技術，透過本技術的推展不但可以在有限地板面積創造出極大化的綠化面積，配合人工光源與灌溉系統可以選在室內或戶外建造綠牆，除營造出非傳統水平視角的美學感受外，更對微環境的氣候調節、空氣品質淨化、熱島效應的減緩都有所貢獻，因而成為全球各大城市或國際機場極力推行的現代綠美化技法。

垂直綠化因建造結構不同大致可分成攀附式、垂掛式以及模組式(亦稱作攀牆式、攀架式、組件式)牆面綠化等3大類。筆者考量方舟溫室群水牆風扇溫室內與冷房溫室之間的玻璃立面為直達屋頂的高度達5.6公尺，將成為走入溫室後迎賓的視覺焦點所在，加上該立面可從溫室群外部花架廊道透視玻璃望見，具有高效益的宣傳價值，故選定以垂直綠化牆面技法，打造融入雨林觀葉、原生物種以及方舟植物保種的展示主題。此外，經過綜合評估建構的成本預算、公共安全、美觀性、效率維持以及未來維護等因素，我們選定對中空複合隔熱玻璃影響最小的模組式牆面綠化，打造高度5.6公尺、面積19.68平方公尺的植物之美垂直綠牆。

墨西哥的ICC國際會展中心 (Los Cabos International Convention Center) 坐擁全世界

面積最大、2,700平方公尺的垂直綠化作品，臺北植物園方舟溫室群的植物之美垂直綠牆只能以小而美的思維、精緻且自然手法，營造出一面結合原生物種及方舟植物的美感牆面，未來能成為水牆風扇溫室的視覺焦點外，更是推廣方舟計畫焦點珍稀物種異地保育教育的活牆面 (Living Wall)。

目前植物之美垂直綠牆栽培物種計有超過60種、184株的各式活體植物，包含原生物種122株，原生種比例達66.3%，為國內少數以多樣且高比例原生物種打造的垂直綠牆案例，更包含艷紅鹿子百合 (*Lilium speciosum* var. *gloriosoides* ; 紅皮書CR等級¹)、羅山腹水草(*Veronicastrum loshanense* ; 紅皮書CR等級)、方莖金絲桃(*Hypericum subulatum* ; 紅皮書VU等級)、彎花醉魚木(*Buddleja curviflora* ; 紅皮書VU等級)等23株重要的珍稀紅皮書物種，均以復刻原生育地的陡峭岩壁環境進行異地保種展示，且搭配人工智能LED補光及省水自動滴灌系統，以確保每一株植物都能有良好的生長條件下一展美姿。

諸如我們透過與新北山村平溪社區合作保種艷紅鹿子百合引種故事，或前往花蓮海岸山脈蒐尋羅山腹水草族群並在臺北植物園區順利繁殖的過程，甚或多次前往新北碧潭沿岸陡壁找尋其上的方莖金絲桃，冒險攜回種子突破發芽條件的經歷，這些故事性十足的保種畫面，與溫室群內部人工栽培環境控制的技術性，都具有高度解說教育的價值，將隨著頂天立地之姿站立綠牆上的植物們，一同歡迎有緣民眾的造訪！

¹ 2017臺灣維管束植物紅皮書名錄評定受脅等級包括極危(CR)、瀕危(EN)、易危(VU)、接近受脅(NT)，以及滅絕(EX)、野外滅絕(EW)、區域滅絕(RE)、無危(LC)及資料缺乏(DD)。



圖4 直達屋頂高度達5.6公尺的垂直綠化牆面，打造融入雨林觀葉、原生植物以及方舟植物保種的展示主題，布拉格植物園長傑尼 (Bohumil Černý；右一) 等人於2023年3月間來園參觀 (左圖)。綠牆上承載了本組與新北山村平溪社區合作保種艷紅鹿子百合引種故事 (右圖) (李俊緯 攝)

玻璃纖維強化水泥仿牆再進化 異質多樣微棲地一次到位

水牆風扇溫室後段靠北側的人造仿牆及水池，為組內同仁自行構思並繪製外觀草圖、高度達4公尺的玻璃纖維強化水泥 (GRC；Glassfiber Reinforced Concrete) 人造景觀仿牆，企圖模擬野外天然岩石峭壁地形，輔以不同流量的逕流及人工LED補光系統，打造出不同光度及濕度的岩壁環境，展示與原生育地相同條件的各式植物種類。

玻璃纖維強化水泥具有依需求彈性塑造岩壁外型的優點，然而其岩壁表面孔隙有限常導致水膜不易停留，更遑論植栽的根系亦

無法順利伸長其上，為了在仿牆上方栽種植物，一般工法會將岩壁外層塑成不同尺寸的植栽槽輔以介質土壤進行植物栽培，常見於大型的仿牆岩壁如自然科學博物館的臺東蘇鐵岩壁或臺北市立動物園熱帶雨林館空氣鳳梨仿岩等案例。

本所特別委請專業生態營造廠商，嘗試用不同材質及厚度材料包覆仿牆，營造出自然度更高的微棲地，打造仿生濕牆鋪面2.0進化版設計；加上人工噴霧加濕及LED補光照明系統，水池內還加裝能將水溫降到攝氏15度以下的水域冷卻系統，成功增加方舟溫室群內仿生濕牆的環境異質多樣性。

後續由本組的分類專家著手進行仿生濕



圖5 仿生濕牆鋪面2.0進化版設計，成功增加方舟溫室群內仿生濕牆的異質多樣性，引起布拉格植物園長等人關注(李俊緯 攝)

牆布展，成功地把原生育地遠在前線馬祖列嶼北竿島上的馬祖佛甲草 (*Sedum matsuense*)，到新北平溪、石碇山區的石碇佛甲草 (*S. sekiteiense*；紅皮書VU等級)、坪林山溝溪澗



的坪林秋海棠 (*Begonia pinglinensis*；紅皮書NT等級)，甚或花蓮清水大山石灰岩壁的太魯閣佛甲草 (*S. tarokoense*；紅皮書VU等級)、清水金絲桃 (*H. nakamurai*；紅皮書VU等級)、太魯閣千里光 (*Senecio tarokoensis*；紅皮書EN等級) 等原生物種，來自生育地環境差異極大的特殊珍稀紅皮書物種、栽培在同一面仿生濕牆上，如此特色十足的布展手法將是國內首屈一指的成功案例。

特別一提的是，透過人工補光高照度水域濕地池的營造，培育有原生中海拔天然湖泊的東亞黑三稜 (*Sparganium fallax*；紅皮書VU等級) 與著名的珍羞蓴菜 (*Brasenia schreberi*；紅皮書VU等級) 外，國內外許多知名的食蟲植物一同在仿生濕牆水池一角展示，包含本組研究人員自桃園航空城工區搶



圖6 濕牆多樣棲地完成營造後，由本組的分類專家著手進行仿生濕牆布展(左圖)；原生新北坪林山溝溪澗的坪林秋海棠在仿生濕牆上生長狀態極佳(右圖)(李俊緯 攝)



圖7 國內外許多著名且十分吸睛的食蟲植物，都有機會在仿生濕牆的角落看到。圖為本組研究人員自桃園航空城工區搶救移地保育的長葉茅膏菜(李俊緯 攝)

救移地保育的長葉茅膏菜 (*Drosera indica*；紅皮書EN等級)、小毛氈苔 (*D. spathulata*)，與源自美、澳大陸的捕蠅草 (*Dionaea muscipula*)、叉葉毛氈苔 (*D. binata*)、阿迪露毛氈苔 (*D. adela*)、瓶子草 (*Sarracenia* spp.) 等十分吸睛的食蟲植物，未來參訪民眾都能在近距離視角進行植物觀察及拍攝。

雖由人作 宛自天開

植物園內的園藝景觀營造及植栽配置，涉及植物分類學的核心價值以及教育推廣展示面的綜合考量，實非三言兩語能完整論述；然而，回顧早在中國明朝時期即誕生的造園學大作《園冶》一書，提到造園之藝「巧於因借，精在體宜」，強調巧妙地營造基地內外的有利條件，結合地形、地貌、花草林木、泉瀑堆石等，做出最精當的構園安排，宛如自然天成，應是臺北植物園有限的基地面積下，可以發揮的造園模式。

而方舟溫室群的植栽配置方程式，成功應用智慧農業、科技材料及控制設備等多方元素，搭配原生及園藝景觀植栽的匠心設計，營造「雖由人作、宛自天開」、高度尊重自然且融入生態造景的垂直綠牆與仿生濕牆，這面由植物園研究人員親手打造的植物方舟牆，正等待有緣朋友們的造訪。⚙️