

綠屋頂及立面植生對於屋頂降溫效益之研究 (I)

陳秋銓¹、李權宸¹、陳俊麟¹、施能衡²、呂博清²、李鐸翰¹

¹ 中州科技大學景觀系助理教授

² 中州科技大學景觀系副教授

¹ 成功大學建築系助理教授

摘要

試驗區採用防水布作為防水層，透水板、不織布、水陶石為過濾保水層，纖維質有機物為栽培介質，植栽為百慕達草、假儉草、南美蟛蜞菊、小蚌蘭、天使花、綠萼草、假杜鵑。

實證試驗區溫度數據顯示施作屋頂層、棚架薄層及立面植生綠化可達降溫之效益，與對照區溫差高達 4-6°C，降溫節省效益明顯，且本次觀察為秋季氣候溫差，繼續觀察可推估預期夏季高溫氣候更能達到節能降溫效益。

觀察 20:00 至 24:00 溫度變化差異，平面試驗區溫差為 0.7°C，棚架區溫差為 1.3°C，立面後方溫差為 1.0°C，對照區 2.2°C，該數值提供的訊息是施作屋頂及立面薄層綠化之區域，白天具有降低輻射熱能的吸收達到降溫的效果，夜晚 20:00 輻射熱能冷卻維持相對穩定，因此試驗區與對照區溫降達 2-3 倍，此項訊息傳達試驗區綠化工作，不僅可以降溫且能有保溫效果（溫差約 1.2-1.5°C）。

施作屋頂綠化後，居家二樓 9-10 月份用電量 115 度較去年同期用電量 166 度共節省 51 度，約節省 31.8% 用電量；由此數據得知都會區頂樓施作屋頂綠化可以減少居家用電量，達到節能的效益。

觀察平面試驗區、棚架區及立面植生區排水現象順暢，且無介質雜質或枯葉導致排水孔阻塞現象，僅排出水色澤微黃且無臭味應為有機介質經水噴灑淋溶透析的色澤，不會造成排水孔阻塞的問題。

關鍵字：綠屋頂、立面植生、節能、降溫、溫差

通訊作者

姓名：李鐸翰

e-mail：land530308@yahoo.com.tw；lish@mail.ncku.edu.tw

聯絡方式：(彰化縣員林鎮山腳路 3 段 2 巷 6 號)、Tel:0916-997565

壹、前言

隨著時代變遷，且全球氣候暖化日趨劇烈，根據各國統計全世界已過一半人口集中於都市叢林中，熱島效應嚴重，各國均大力推動都市環境的各種節能、減碳、降溫、環保等措施，其中綠屋頂、立面、露台、陽台及道路樑柱、擋土牆面等立體空間進行綠化施作，或種植兼具景觀與食用的植栽作物等，期待在寸土寸金的都市環境中，將地面失去的綠地資源從空中及立面找回來的積極做法，期許營造綠色生態都市便成為現代居住環境建設與都市新農業發展趨勢。

綠屋頂 (green roof) 係指將建築物屋頂、外牆及陽台以人工方式進行植栽整建的基礎綠化工程，其目的係將建築物屋頂藉由鋪設草皮、植栽槽或屋頂農園等各類植栽配置方式來達到降溫、淨化空氣品質、截留雨水、創造生物棲地、景觀美化、園藝生產、運動休憩等功能。

屋頂綠化屬於立體綠化，對於氣候及生態環境有很大的助益，綠建築立體綠化的評估，也將人工地盤屋頂綠化納入計分，屋頂綠化人工綠地的結構安全即為必須考量的重點。

隨著氣候變遷，全球暖化的趨勢越趨明顯，都市熱島效應所帶來的負面影響越來越大，台灣位於亞熱帶地區，氣候本就炎熱，隨著氣候變遷的發展有可能本地氣候進一步地「熱帶化」，而台灣地區的人均二氧化碳排放量又居世界前列，溫室氣體所造成的城市熱島效應將會使本地戶外微氣候條件更趨惡劣，與近年流行之「生態城市」理想漸行漸遠，如何降低熱島效應以改善室內及戶外微氣候環境遂成為城市行政的當務之急。

本研究利用天然纖維質廢棄物作為建築物立面植生及屋頂薄層綠化栽培基質，以降低施設成本，並能達到降溫節能的效益，促使立面植生及屋頂綠化使用普及化，降低熱島效應以改善室內及戶外微氣候環境，並為台灣生態住宅、生態社區、生態城市的營造挹注一股活力。

貳、研究文獻回顧

夏季熱島效應現象日漸嚴重，對都市舒適性與可居性造成很大的影響，其中都市環境水泥化、不透水鋪面日益擴大，使得地表蓄熱面積加大，增加都市廢熱的排放，造成都市氣候的改變，使熱島效應持續嚴重 (彭文正，2002;李洋毅，2006)。

高層建築物的峽谷結構 (canyon structure) 也會使溫度升高。白天，熱能由於建築物的互相反射而無法流出，輻射熱也會被吸收而釋放的少 (鄭婉純，2004)。

都市建築物和構築物的材料比郊區自然環境的熱容量大，導熱率高，在白天都市地表面吸收輻射能，貯存在下墊面中的熱量要比郊區多，這就使得在日落後都市地表面降溫速度比郊區小，通過各種方式提供給空氣的熱量比郊區多，這就是導致都市熱島強度夜晚大於白晝的重要原因之一 (魏國彥、許晃雄，1997)。

都市熱島強度之強弱可以依定量來評估，其定義為市中心 ($^{\circ}\text{C}$) 與市郊區溫度 ($^{\circ}\text{C}$) 之



差。季節性是影響熱島效應主要的因素，通常最大值出現於夏季和秋季時段，熱島效應的形成使得都市與郊區溫度可以相差1~2度，夜晚時比白天更為明顯，尤其是日落後的2~3小時差異性最大（林憲德，1994）。

都市內部的太陽輻射量會因都市煙塵量較多而具阻擋作用，因此直接輻射量比郊區要少；但因密集建築物經過多次反射輻射與熱輻射，補償了太陽直接輻射的損失，造成都市淨輻射可能因此大於郊區。都市內大約有30%的土地被易吸收熱能的人造結構（如柏油、水泥叢林）所覆蓋，在白天吸收熱，而於夜晚放出熱，使夜晚的空氣升溫。由於人工地盤的水泥、柏油等比熱較小，加上都市消耗於蒸發熱的量體小（潛熱小），使得都市可感熱增加，溫度上升，此與郊區的溫差現象即為熱島效應（urban heat island effect）。Howard 早在1818年便提出，夏天時美國一般都市的平均氣溫就比周圍地區高了3~5°C（林寶秀，2010）。

國外研究表示，沒有綠屋頂覆蓋的平屋頂，夏季由於陽光照射，屋頂的溫度比氣溫高得多，因而，建築頂層內部空間的溫度也比下面樓層高得多。在經過綠化的屋頂上，太陽輻射熱量或被植物反射、吸收，或消耗在水分蒸發上，並且由於種植層的阻滯作用，大部分熱量不會使屋頂結構構造表面溫度繼續升高。德國綠化機構研究表示：夏季當氣溫大約在30°C時，沒有綠化的屋頂溫度高達40°C~50°C，而綠化屋頂基層10cm處僅有20°C（許萍等2004；Palomo & Barrio, 1998），有效地阻止了屋頂表面溫度的升高，進而降低了屋頂下的室內溫度。建築物屋頂綠化降溫方面，主要以降低建築物溫度、減少冷氣用電量，透過屋綠頂建築用電量調查分析省電幅度。Spala等（2008）以Athens商業建築的綠屋頂能源與環境研究資料，能源使用效率透過精確的動態模擬模型計算省能效率，熱表現結果顯示可顯著降低夏季建築物冷卻空調的用電量，約減少40%的用電量。

利用紅外線測溫儀，於2008年按月調查吳興國小同棟校舍中「綠屋頂」與「裸露屋頂」之溫度差異，結果顯示屋頂綠化確實可顯著地降低建築物表面溫度，進而調節室內溫度達節能減碳效果（張育森等，2009）。5月到9月吳興國小進行屋頂綠化與否對屋頂溫度影響的情形，其中不論是平均溫、最高溫或最低溫，進行綠化之屋頂表面皆較裸露屋頂為低。夏季高溫時期（6-9月），使用屋頂綠化皆可較裸露屋頂降低其表面平均溫度達10°C以上，在最熱的7月與8月甚至可降溫13與12°C；屋頂綠化後表面最高溫也可維持在50°C以下。

林寶秀（2010）亦指出透過夏季微氣候觀測建築物屋頂樓板溫度，一天之中以中午時段（12~15）最高達50°C以上，而入射短波輻射是造成地表溫度上升的主因。以屋頂樓板與植栽槽覆蓋下方樓板溫差界定為植栽槽降溫效果，結果顯示屋頂綠化可降低樓板溫度13~22°C。故由上述兩項結果可知，在台灣的氣候條件下，薄層式綠屋頂植栽槽確實具有顯著的降溫能力。

由於屋頂比地面空氣流通好，容易與周圍自由大氣進行熱量交換，若再加上屋頂綠化，夏季屋頂最高溫度便明顯低於未綠化屋頂，而冬季最低溫度則明顯高於未綠化者。另外如果屋頂綠化是採用地毯式滿鋪的地被植物，則地被植物及其下的輕質種植土組成的“毛毯”層完全可以取代屋頂的保溫層，達到冬季保溫夏季隔熱的作用。

由於綠屋頂具有隔離性，可降低夏季空調的支出（加拿大的研究顯示6吋開闢式綠屋頂能降低吸熱達95%），減少冬季暖氣需求，降低建物加熱與冷卻費用至少10—15%，從而有效改善室內熱環境、減少房間空調耗能。日本研究指出：東京市在上個世紀年平均溫度上升了3°C，如果東京城市的一半屋頂被綠化，夏季的最高日溫可以下降0.84°C，每天節省的空調費將可達100 萬美元（李岳岩和周若祁，2006）。

唐鳴放和王科（2010）亦指出在上海夏季氣候條件下，使用綠屋頂可使屋頂表面平均溫度降低約3°C，可使屋頂傳入室內的熱流量減少70%以上，屋頂綠化（植物和土層合計）的附加當量熱阻達到約1.0 m²·K/W，單位面積屋頂綠化在夏季空調期間平均每天節約電量約0.1kWh。而利雅德（沙烏地阿拉伯的首都）等較熱的都市，架設屋頂綠化後所需空調的時數能由12小時降至僅5小時；除使生活在都市中更舒適與安全外，也能大量減少多數由燃燒石化燃料所產生的電力需求，因此有助於減緩全球暖化（李中原，2008；吳金順，2004）。

謝維芳（2005）在研究結果中指出，由壁面綠化對外牆表面溫度及室內溫度影響的試驗分析結果，可推測植栽特性中影響隔熱效果最大的因子為「植栽層厚度」，其次是「植栽覆蓋率」，再者是「蒸散速率」，而「葉色」對隔熱效果則沒有顯著的影響。該學者也同時指出，綠化植栽的「葉片密度」會影響建築物之隔熱效果。

張簡宏裕（2002）的研究結果顯示，鵝掌藤植物分布平均空隙率為17.21%時，樹冠對日射消耗熱能作用約35.41%總日射熱能，水分蒸散潛熱作用約佔19.32%總日射熱能，樹冠反射作用約佔20%之總日射熱能。屋頂覆土植栽之熱收支，於本研究中顯示植物層所提供之隔熱效果約佔了80%之總日射熱能，土壤層所提供之熱阻機制約佔了20%之總日射熱能，只有大約0.4%日射熱能穿透土壤層到達樓板。因此了解屋頂綠化可改善夏季酷熱之屋頂層熱環境，透過植栽層及土壤層減少熱流進入室內亦可減少能源的損耗。

屋頂綠化可降低裸露混凝土平屋頂表面溫度9.4~11.5°C，可降低裸露平屋頂上方30cm周圍空氣溫度1.3~1.8°C，可降低平屋頂下方室內空氣溫度，可降低裸露混凝土平屋頂平均輻射溫度7.9°C~8.9°C，以上各項實驗除降低平屋頂下方室內空氣溫度為台北草效果較佳外，其餘皆為桂花較台北草為佳，（許瑞銘，2006）。

高國峰（2000）採用了紅外線熱像儀、氣候資料收集處理器、熱電偶計以及熱流計來進行實質環境的觀測與記錄作業發現綠化植栽無論是對單一建築物或是都市建築群的表面溫度，均有著明顯的降溫及緩和作用，在爬藤立面熱傳的觀測上，也可發現其遮蔽熱流及低熱傳透率的效果。其隔熱效果相當於1B磚牆之構造。而裸露牆面與植栽葉面之表面溫度，根據其研究結果顯示，葉面溫度低於壁面溫度，其溫度差介於0.7°C~3.8°C之間。就日照輻射而言，垂直牆面約為水平地面之1/2，且屋頂面為最大吸熱層，因此，推論屋頂綠化具有降溫與遮蔽日照輻射之效果。

許瑞銘（2006）認為植栽熱效益可從表面溫度、周圍空氣溫度、平均輻射溫度及建築物室內溫度等之降溫效果及植栽遮蔽作用與熱流變化等項目進行探討。而屋頂綠化可有效降低屋頂的表面溫度與其上方周圍空氣溫度及屋頂的平均輻射溫度，減低太陽輻射對建築物的影



響，減少屋頂表面熱流量的變化，進而有效降低建築物的室內溫度。屋頂綠化的降溫效果，又因土壤層的厚度、濕度及植栽的數量、密度、顏色以及土壤和植栽蒸散量而有顯著差異。

夏季時，由於高溫時期之水平日射量約為北向垂直面日射量的四倍以上，此巨幅之日射量使得頂層空間的空調負荷遽增，使得台灣在仲夏熱濕氣候之屋頂外表面溫度更可高達 60 至 70°C，非空調頂層內部表面溫度亦可高達 45°C（李宗霖，2006）。由於在沒有直射光的狀況下，太陽輻射主要依賴於負載的數額長波輻射排在周圍表面上。因為白天有強烈的太陽輻射，在堅硬的表面具有較高的表面溫度，因此在夜間會釋放更多的長波輻射到周圍環境。另一方面，植栽可以消除部分傳入的太陽輻射和保護地表下面的高溫（Wong，2003）。這些研究證明屋頂綠化確實可以減輕都市熱島效應。而林憲德（2003）也於解決頂層的能源與居住環境之研究中，指出最好及最有效的方法莫過於屋頂隔熱對策，因為屋頂隔熱方式可有效阻礙熱源的產生。Portland's office of sustain ability（2001）提出如何利用屋頂綠化來降低城市熱島效應及改善空氣質量。

參、材料與方法

- （一）本研究採用實地測量方式進行試驗，進行屋頂受日照後對對照區域、平面試驗區域、棚架試驗區（架高 60cm）、立面植生區溫度影響測量，探討屋頂表面傳熱溫度差異變化。
- （二）試驗地點：台中市都會區建築物二樓屋頂頂樓。
- （三）植栽與栽培介質材料：選用多年生常綠植物百慕達草（*Cynodon dactylon*）、假儉草（*Eremochloa ophiuroides*）、小蚌蘭（*Rhoeo spathacea*）、蔓性馬纓丹（*Lantana montevidensis*）、天使花（*Angelonia angustifolia*）、綠萼草（*Alteranthera Payonychioides*）、假杜鵑（*Barleria cristata*）。有機纖維質介質：枯枝落葉基肥、牛糞有機肥、廚餘、枯枝落葉基肥、碎木屑、椰纖（椰塊）、茶葉渣、炭化稻、泥炭土、木質纖維依不同配置比例組合。
- （四）溫度擷取時段：8：00、12：00、17：00、20：00、24：00，使用溫度記錄器紀錄溫度，觀察記錄期間為9月至10月31日。
- （五）台中市都會區建築物二樓屋頂及立面薄層綠化實證試驗區，節能降溫效益觀察紀錄，種植植栽具多樣性，平面試驗區（4.3x3.1m）計有天使花、綠萼草、假杜鵑、小蚌蘭、蔓性馬纓丹植栽，立面試驗區（2.5x2.1m）、棚架區（1.25x1.25m）計有百慕達草、假儉草植栽，9月6日施作完成，9月開始蒐集溫度數值至10月31日止，下圖1至15為試驗區施工圖解。



圖 1：平面實驗區鋪設防水布 圖 2：平面實驗區鋪設排水板 圖 3：平面實驗區鋪設不織布



圖 4：鋪設過濾保水資材 圖 5：試驗區置放試驗資材 1 圖 6：試驗區置放試驗資材 2
水陶石及空心磚收邊

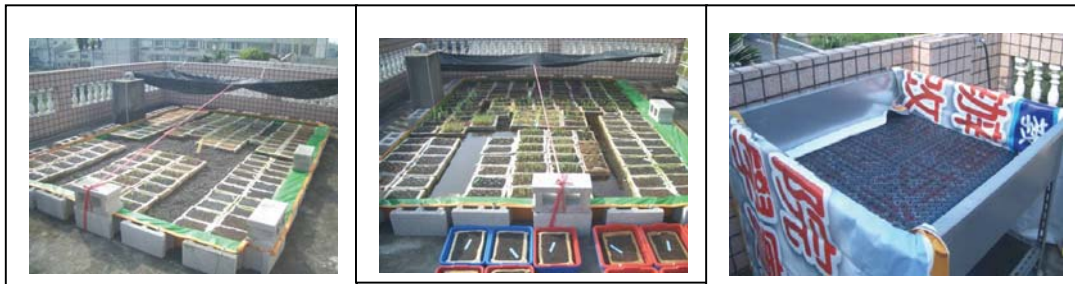


圖 7：試驗區置放植栽 3 圖 8：試驗區置放植栽 4 圖 9：棚架區鋪設防水布及排水板



圖 10：棚架區鋪設水陶石濾材 圖 11：棚架區置放試驗植栽 1 圖 12：棚架區置放試驗植栽 2



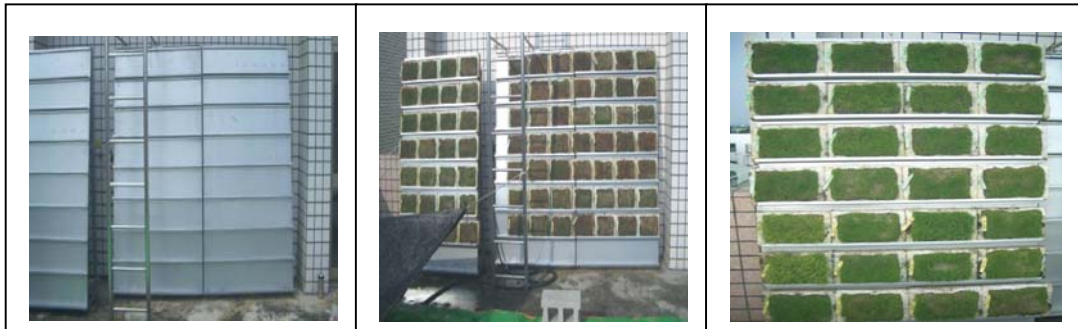


圖 13：立面區鍍鋅鋼架

圖 14：立面區置放試驗資材 1

圖 15：立面區置放試驗資材 2

肆、結果

(一)、溫度變化

1. 9月至10月觀察紀錄，比較 08:00 平均溫度數值變化，發現平面試驗區溫度最低 23.4°C，立面後方溫度 24.0°C，棚架區溫度 25.4°C，對照區溫度 29.4°C 最高（圖 16）。比較 12:00 平均溫度數值變化，發現平面試驗區溫度最低 26.7°C，立面後方溫度 26.9°C，棚架區溫度 29.8°C，對照區溫度 39.5°C 最高（圖 17）。

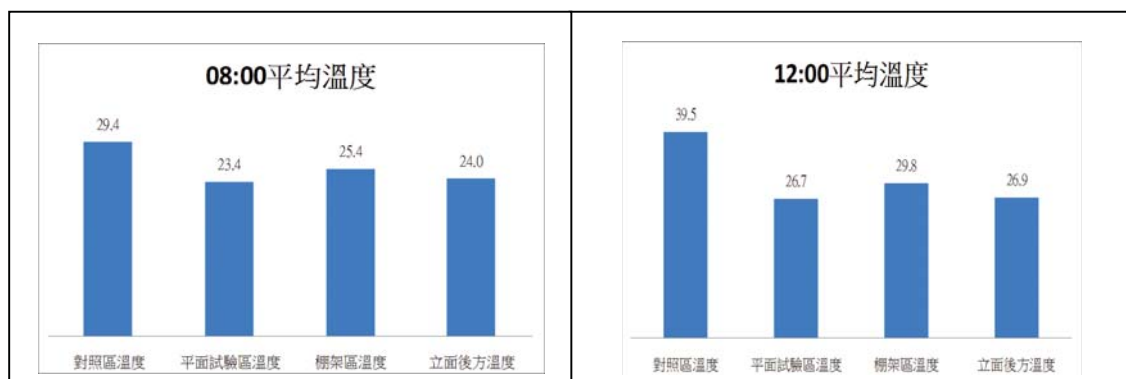


圖 16：08:00 平均溫度數值比較

圖 17：12:00 平均溫度數值比較

2. 比較對照區與平面試驗區 08:00 溫度差值，發現最高溫度差值為 9 月 29 日高達 11.5°C，10 月 3,15 日（雨天風大）差值最低 0°C（圖 18）。12:00 溫度差值，發現最高溫度差值為 10 月 20,29 日高達 19.5°C，9 月 28 日差值最低 3°C（陰雨天）（圖 19）。

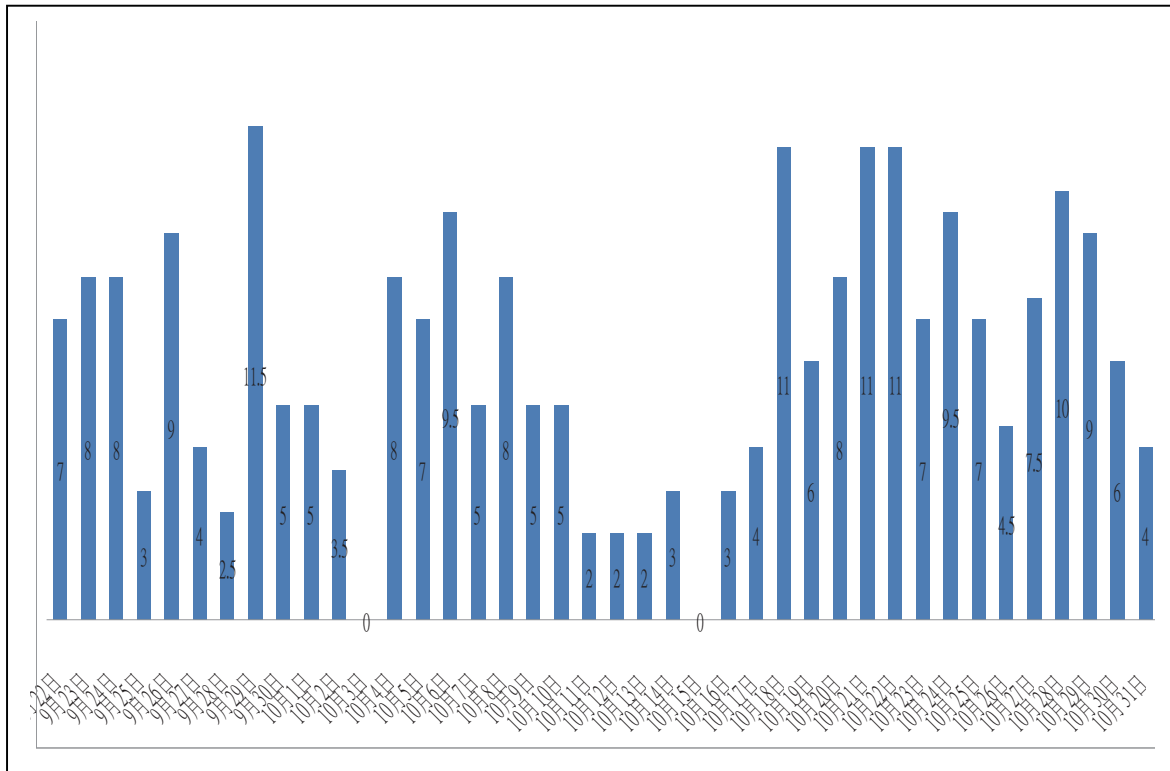


圖 18：08:00 對照溫度與平面試驗區溫差值

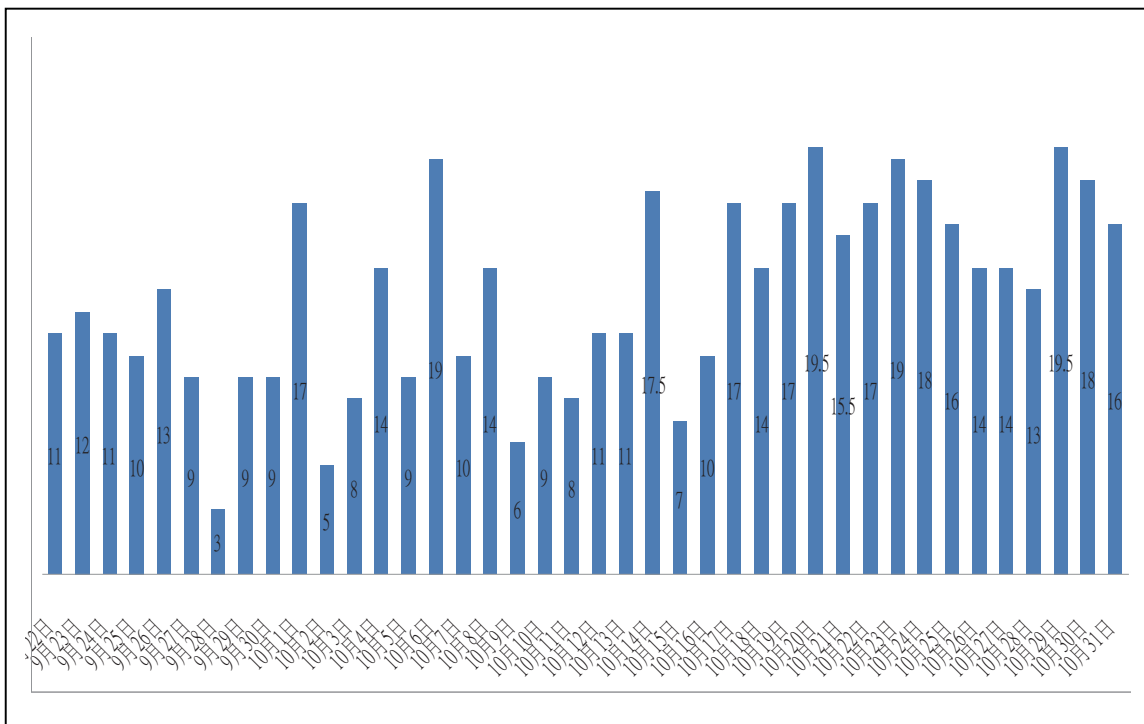


圖 19：12:00 對照溫度與平面試驗區溫差值



綠屋頂與裸露屋頂之溫度差異，中午12:00溫度差值，發現最高溫度差值為高達19.5°C，差值最低3°C（陰雨天），平均溫差值為12.8°C；與張育森老師（2009）吳興國小使用屋頂綠化皆可較裸露屋頂降低其表面平均溫度達 10°C 以上，在最熱的7月與8月甚至可降溫13 與 12°C；林寶秀（2010）一天之中以中午時段（12~15）最高達50°C 以上，而入射短波輻射是造成地表溫度上升的主因。以屋頂樓板與植栽槽覆蓋下方樓板溫差界定為植栽槽降溫效果，結果顯示屋頂綠化可降低樓板溫度13~22°C。；研究結果相同且有明顯的降溫效果，結果顯示屋頂綠化確實可顯著地降低建築物表面溫度，進而調節室內溫度達節能減碳效果。

3. 9月至10月觀察紀錄，比較 17:00 平均溫度數值變化，發現平面試驗區溫度最低 24.4°C，立面後方溫度 25°C，棚架區溫度 26.3°C，對照區溫度 28.6°C 最高（圖 20）。比較 20:00 平均溫度數值變化，發現平面試驗區溫度最低 23.3°C，立面後方溫度 23.7°C，棚架區溫度 24.7°C，對照區溫度 26°C 最高（圖 21）。

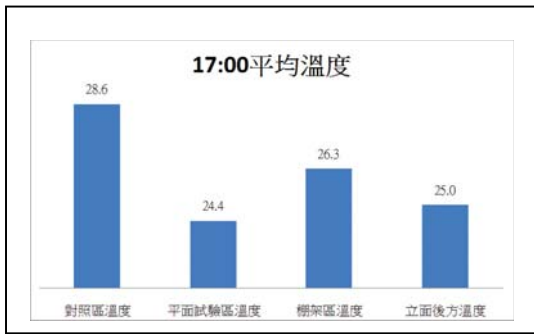


圖 20：17:00 平均溫度數值比較

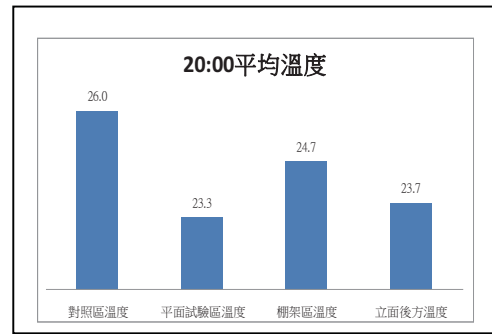


圖 21：20:00 平均溫度數值比較

4. 比較對照區與平面試驗區 17:00 溫度差值，發現最高溫度差值為 9 月 22,27 日、10 月 18 日 高達 7°C，10 月 2 日差值最低 0°C（圖 22）。20:00 溫度差值，發現最高溫度差值為 9 月 22,23,26,27,29 日 高達 5°C，10 月 15 日差值最低 -0.5°C（陰雨天）（圖 23）。

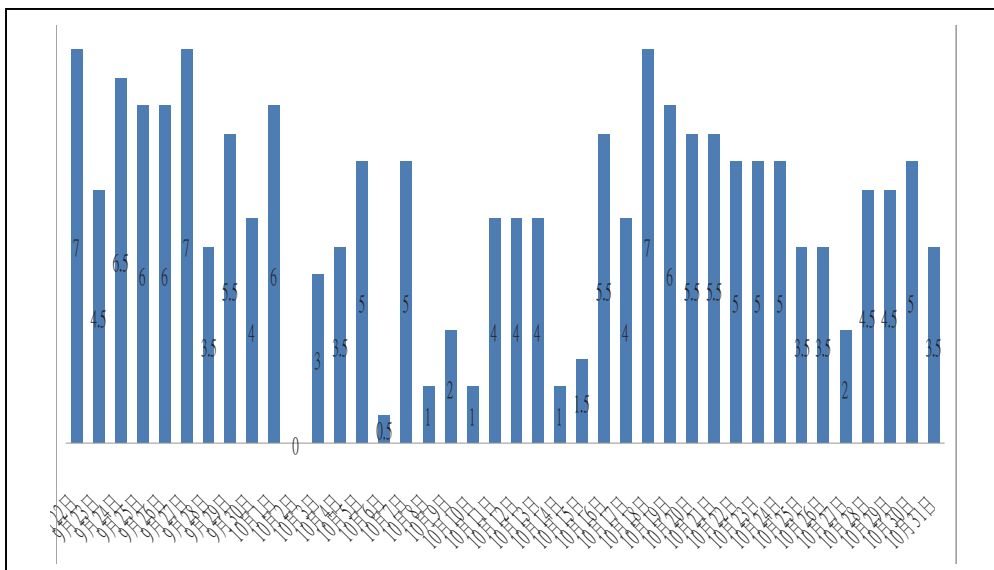


圖 22：17:00 對照溫度與平面試驗區溫差值

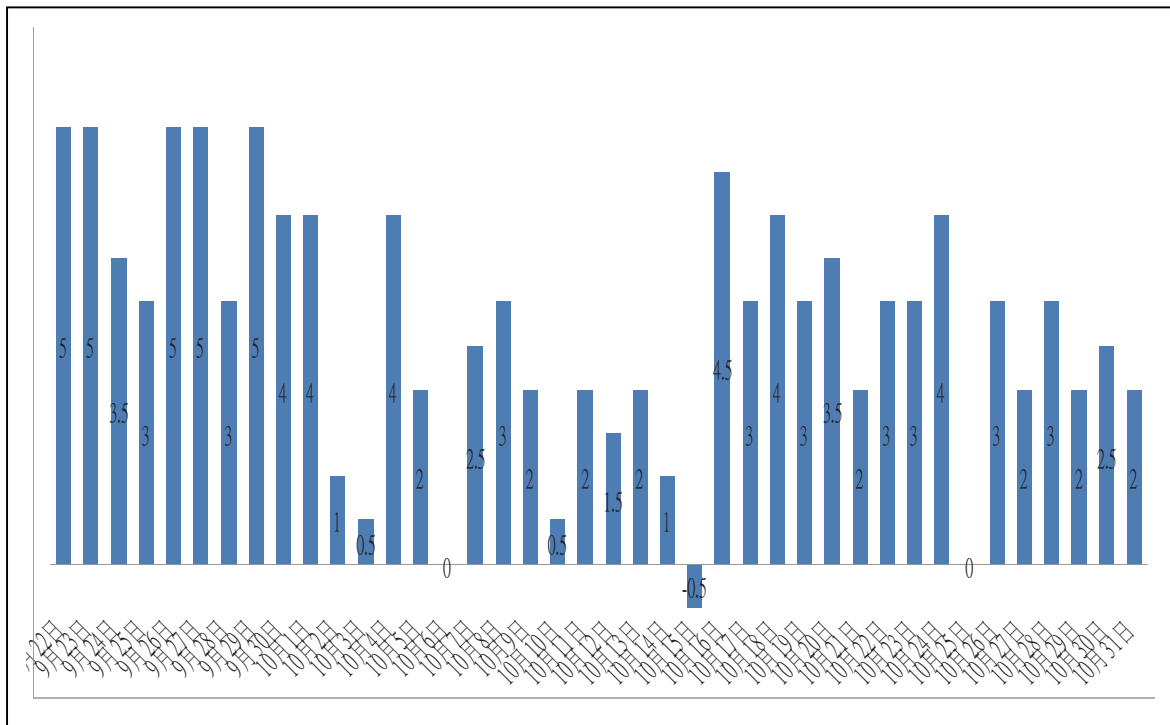


圖 23：20:00 對照溫度與平面試驗區溫差值

5. 9 月至 10 月觀察紀錄，比較 24:00 平均溫度數值變化，發現平面試驗區溫度最低 22.6°C，立面後方溫度 22.7°C，棚架區溫度 23.4°C，對照區溫度 23.8°C 最高（圖 24）。比較對照區與平面試驗區 24:00 溫度差值，發現最高溫度差值為 9 月 26、29 日達 4°C，10 月 15 日差值 -2°C（圖 25）。

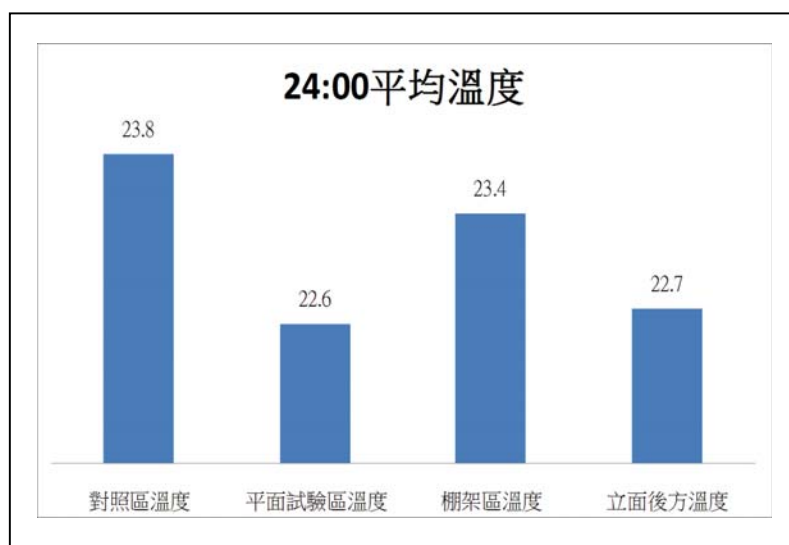


圖 24：24:00 平均溫度數值



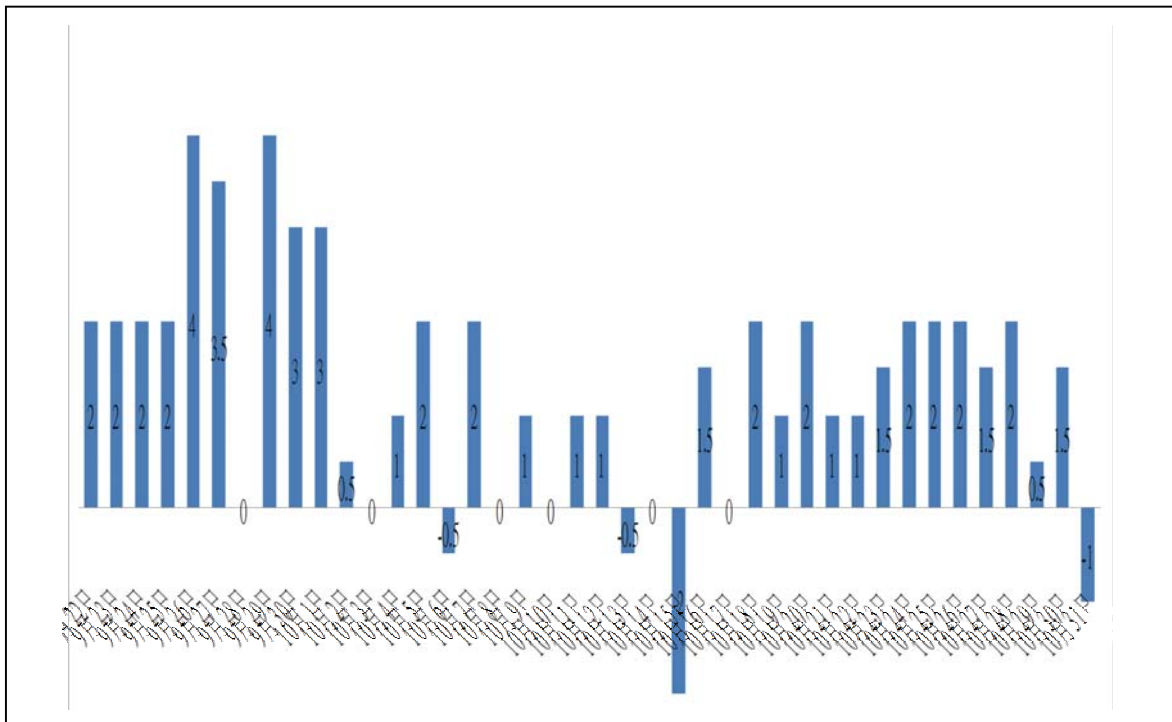


圖 25：24:00 對照溫度與平面試驗區溫差值

6. 比較 9-10 月日平均溫度數值變化，發現平面試驗區溫度最低 24.3°C，立面後方溫度 24.9°C，棚架區溫度 26.2°C，對照區溫度 30.0°C 最高，發現對照區與平面試驗區溫度差值高達 5.7°C，對照區與棚架區溫度差值達 3.8°C，對照區與立面後方試驗區溫度差值達 5.1°C (圖 26)，數據顯示施作屋頂薄層、棚架薄層及立面植生綠化可達降溫之效益，且溫度差值高達 4-6°C，降溫節省效益明顯，而且本次觀察為秋季氣候溫差，應繼續觀察並可推估預期夏季高溫氣候更能達到節能降溫效益。

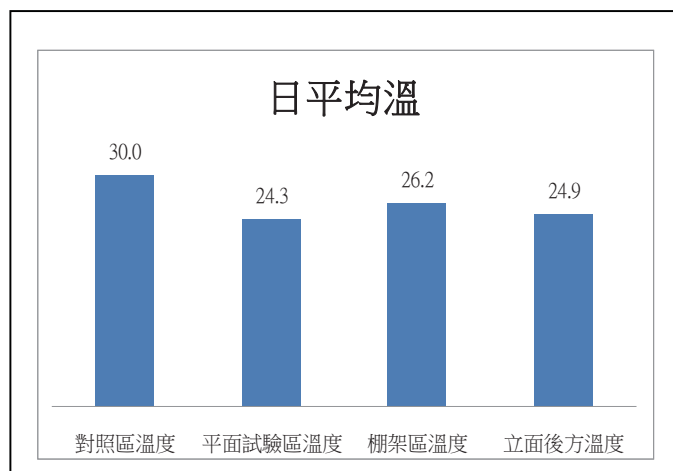


圖 26：9-10 月日平均溫度數值比較

7. 比較分析溫度紀錄原始數據，發現對照區與平面試驗區、棚架區、立面後方，9-10月 17:00 至 24:00 溫度變化有明顯差異，平面試驗區溫差為 1.8°C，棚架區溫差為 2.9°C，立面後方溫差為 2.3°C，對照區 4.8°C；再深入探討 9-10月 20:00 至 24:00 溫度變化差異，平面試驗區溫差為 0.7°C，棚架區溫差為 1.3°C，立面後方溫差為 1.0°C，對照區 2.2°C，該數值提供的訊息是施作屋頂及立面薄層綠化之區域，白天具有降低輻射熱能的吸收達到降溫的效果，夜晚 20:00 輻射熱能冷卻維持相對穩定，因此試驗區與對照區溫降達 2-3 倍，此項訊息傳達這試驗區綠化工作，不僅可以降溫且能有保溫效果（溫差約 1.2-1.5°C）。

施作屋頂綠化後，居家二樓 9-10 月份用電量 115 度較去年同期用電量 166 度共節省 51 度，約節省 31.8% 用電量；由此數據得知都會區頂樓施作屋頂綠化可以減少居家用電量，達到節能的效益。

（二）、防水及排水孔阻塞問題

本研究為施工方便及節省經費，採用厚度 2mm 防水布作為防水層，上鋪設園藝景觀一般排透水板、再鋪一層 0.5mm 不織布、上鋪 4-5cm 厚飽含水層水陶石兼過濾功能，再以空心磚間隔收邊，完成後將包裹不織布之試驗研究資材介質平鋪於上完成施設；所採用之植栽種類以常綠性為主（圖 27,28）；實證試驗由 9 月開始觀察至 10 月初，並未發現樓地板有滲漏水現象，防水功能充分發揮且施工易成本低；再者觀察平面試驗區、棚架區及立面植生區排水現象順暢，且無介質雜質或枯葉導致排水孔阻塞現象，僅排出水色澤微黃且無臭味應為有機介質經水噴灑淋溶透析的色澤，不會造成排水孔阻塞的問題（圖 29,30）。

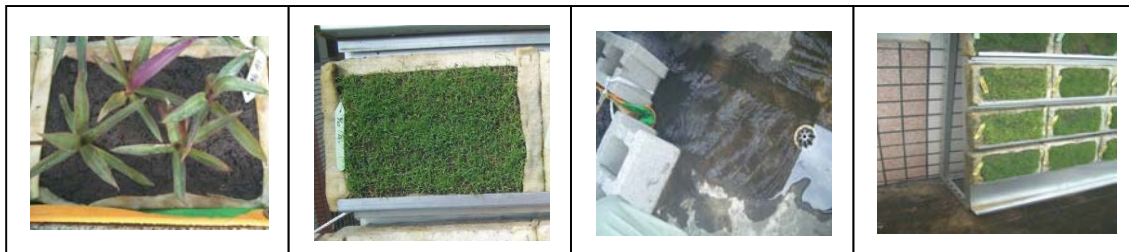


圖 27：小蚌蘭

圖 28：假儉草

圖 29：平面區排水現象

圖 30：立面區排水現象

伍、結論與建議

試驗區日平均溫度數據顯示施作屋頂綠化、棚架薄層及立面植生綠化可達降溫之效益，與對照區溫差高達 4-6°C，降溫節省效益明顯，且本次觀察為秋季氣候溫差，繼續觀察可推估預期夏季高溫氣候更能達到節能降溫效益。

觀察 20:00 至 24:00 溫度變化差異，平面試驗區溫差為 0.7°C，棚架區溫差為 1.3°C，立面後方溫差為 1.0°C，對照區 2.2°C，該數值提供的訊息是施作屋頂及立面薄層綠化之區域，白天具有降低輻射熱能的吸收達到降溫的效果，夜晚 20:00 輻射熱能冷卻維持相對穩定，因

此試驗區與對照區溫降達 2-3 倍，此項訊息傳達這試驗區綠化工作，不僅可以降溫且能有保溫效果（溫差約 1.2-1.5°C）。

施作屋頂綠化後，居家二樓 9-10 月份用電量 115 度較去年同期用電量 166 度共節省 51 度，約節省 31.8%用電量；由此數據得知都會區頂樓施作屋頂綠化可以減少居家用電量，達到節能的效益；但也增加少量水費的支出。

本研究以都會區平屋頂，樓地板頂樓為實證研究試驗區，本次試驗為初期結果，未來試驗將持續延伸期程一年以上，加入不同植栽於薄層屋頂綠化降溫效益之評估，且將溫度擷取時段修正為 10-60 分鐘，並加入環境因素一併考量，以求實證研究結果對於未來在實務應用上具有實質參考價值。

陸、參考文獻

1. 李岳岩、周若祁。2006。日本的屋頂綠化設計與技術，建築學報（2）:37-39。
2. 唐鳴放、楊真靜、李莉。2007。自然狀態草地式屋頂綠化隔熱特性分析，暖通空調HV&AC，第37卷，第3期，pp.1-5。
3. 唐鳴放、楊真靜、鄭開麗。2007。屋頂綠化隔熱等效熱阻，重慶大學學報，第30卷，第5期，pp.1-3。
4. 許萍、車伍、李俊奇。2004。屋頂綠化改善都市環境效果分析，環境保護7：41-44。
5. 郭岩。2008。種植屋頂建築技術的研究，太原理工大學學報，第39卷，第6期，pp.616-619。
6. 李鐸翰、薛聰賢、薛人維、張志藩。2007。台灣原生植物應用於綠建築生態指標群設計之研究，96年度原生植物生態環境調查分析之研究，內政部建築研究所，台北。
7. 林憲德（1994）：現代人類的居住環境，胡氏書局，台北市。
8. 林憲德（2003）：熱濕氣候的綠色建築，詹氏書局，台北。
9. 陳瑞鈴、鄭政利、劉安町。1999。都市建築熱環境可視化觀測與評估之研究，內政部建築研究所專題研究計畫成果報告，台北。
10. 方智芳。2008。綠屋頂植物與隔熱，綠屋頂推廣交流討論會資料，台北市錫瑠環境綠化基金會，台北。
11. 李洋毅。2005。綠化形態對都市熱島效應影響效果之研究，銘傳大學媒體空間設計研究所碩士論文。
12. 李宗霖、陳立武。2006。增設建築物屋頂隔熱設施改善空調用電之探討，資源與環境學術研討會，花蓮。
13. 李中原。2008。綠屋頂介紹-觀念與案例，綠屋頂推廣交流討論會資料，台北市錫瑠環境綠化基金會，台北。

14. 林寶秀。2010。植栽綠地降溫效果之研究，臺灣大學園藝學系博士論文。
15. 吳金順。2004。屋頂綠化對建築節能及都市生態環境影響的研究，河北工程大學博士論文。
16. 唐鳴放、王科。2007。屋頂綠化節能熱工參數研究，2010上海市博世界屋頂綠化大會論文集，p.136-140。
17. 張育森。2008。綠屋頂適用栽培介質的選擇與應用，綠屋頂推廣交流討論會 資料，台北市錫瑠環境綠化基金會，台北。
18. 張簡宏裕。2002。屋頂覆土植栽之熱收支研究-以鵝掌藤植栽為例，國立台灣科技大學營建工程系碩士論文，台北。
19. 許瑞銘。2006。屋頂綠化熱效益之研究，朝陽科技大學建築及都市設計研究所碩士論文，台中。
20. 許榮輝。2008。綠屋頂的規劃建置與管理，綠屋頂推廣交流討論會資料，台北市錫瑠環境綠化基金會，台北。
21. 陳怡陵。2010。建築物牆面採不同植栽形式與綠覆率之視覺偏好研究，朝陽科技大學建築及都市設計研究所碩士論文，台中。
22. 謝維芳。2005。不同植栽對建築物隔熱效果影響之研究，國立中興大學園藝學系碩士論文，台中。
23. 蘇榮宗。2009。屋頂植草覆土層熱效應之研究，國立高雄大學都市發展與建築研究所碩士論文，高雄。
24. Palomo, E. and D. Barrio ,1998. Analysis of the green roofs cooling potential in buildings. *Energy and Buildings* (27) : 179-193.
25. Portland's office of sustainability, 2001. "The Green Roof Infrastructure Monitor", *Green roofs for healthy cities*, Vol.3, No.1, pp.1-14.
26. Spala, A., Bagiorgas, H. S., Assimakopoulos, M.N., Kalavrouziotis, J., Matthopoulos, D., & Mihalakakou, G. ,2008. On the green roof system. Selection, state of the art and energy potential investigation of a system installed in an office building in Athens, Greece. *Renewable Energy*, 3 (1) :173-177.
27. Wong, N.H., Chena, Y., Ong, C.L.&Sia, A.,2003. Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment, *Building and Environment*, Vol.38, pp.261-270.
28. Wong, N.H., Cheong, D.K.W., Yan,H., Soh, J., Ong, C.L.&Sia, A.,2003. The effects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore, *Building and Environment*, Vol.35, pp.353-364.



Research of green roof and facade vegetation reduce the heat efficiency

Chen chiou-chyua、Li chan chen、Chen gin-lin、Shi neng heng、Lu bo qing、Lee soen-han

Abstract

Experiment areas in bosuifu as waterproof layer, permeable board, not weaving, water Tao stone to filter water conservation, fiber organisms to cultivate media, planted to Bermuda grass, Centipede grass, Trilobate Wedelia, Boat lily, Cosmos, Angel Flowers, Kidney Grass, Red Barleria.

Experiment areas temperature data show the gree roof, extensive of garden scaffolding and facade vegetation may lower the temperature reached the benefits, and air of areas temperature up to 4-6°C, obvious economical and reduce the heat, and the observer for climate temperature autumn, should continue to observe and can be expected to estimates summer heat climate more efficient economical and reduce the heat.

Observer 20:00-24:00 changes in temperature differences and flat Experiment zone for temperature difference 0.7°C, scaffolding area for temperature difference 1.3°C, facade vegetation for temperature difference 1.0 °C, air of areas for temperature difference 2.2°C, the value of the message is that the roofing and facade vegetation areas, during the day time heat radiation is reduced to absorb and reduce the heat, night 20:00 radiation thermal cooling remained relatively stable, the Experiment areas and air of areas temperature as 2-3 times, the messages that the Experiment zone greening work can lower the temperature and a thermal effects (temperature difference about 1.2-1.5°C).

City construction the green roof, home 2-floor 9-10 month electricity consumption in the a year earlier 115 degrees electricity 166 degrees of save 5 times, about save 31.8 percent consumption of electricity; thus data that will top floor construction the green roof can reduce the household electricity, to conserving energy efficiency.

Observation plane, scaffoldings zone and facade vegetation drainage is smooth, and contains no media impurity or dead leaves the scuppers blocking phenomenon, only drainage water color micro yellow and no smell of organic medium by spraying water soluble dialysis shower color and will not cause scuppers blocking.

Key word: green roof, facade vegetation, economical, reduce the heat, temperature difference.