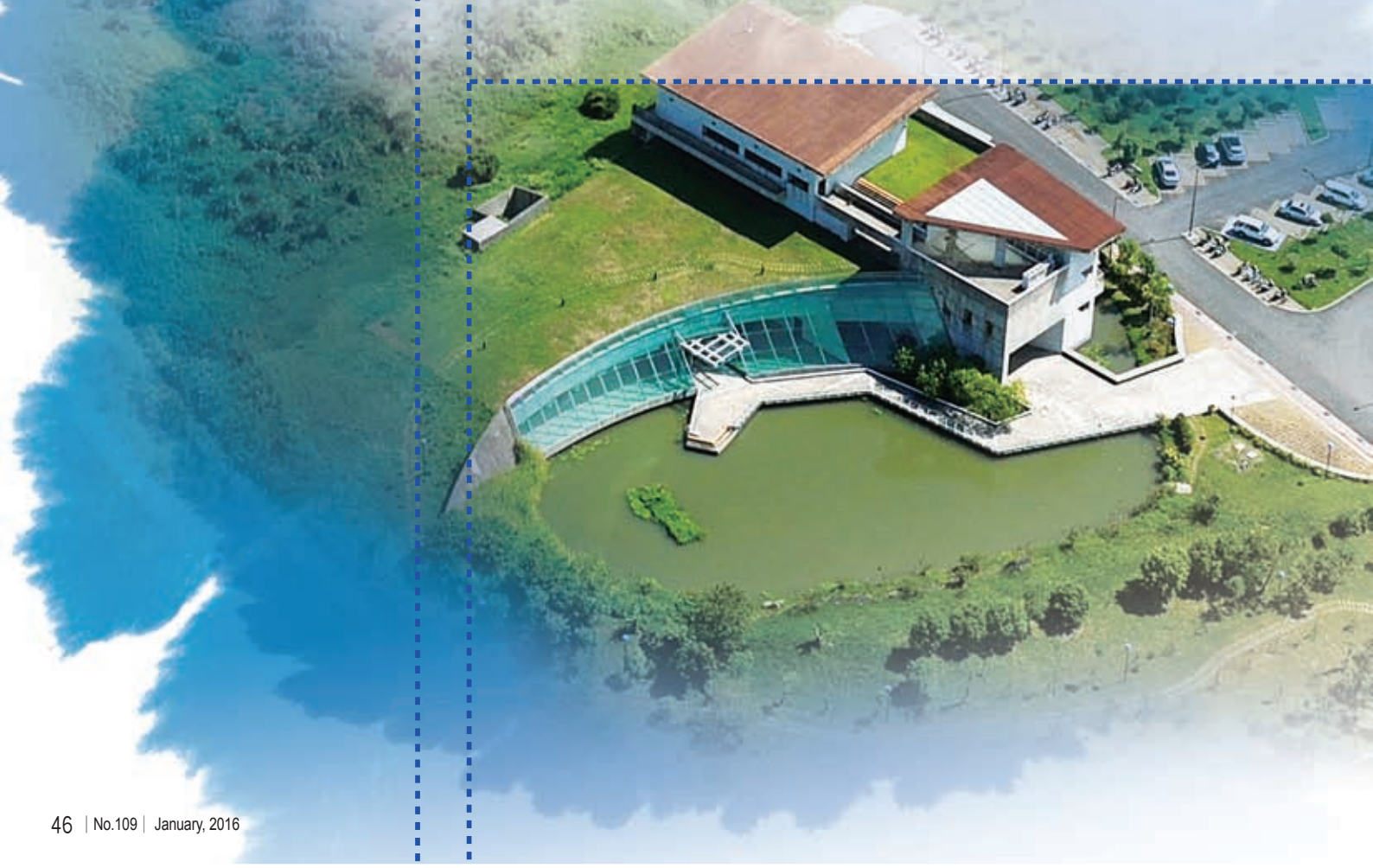
都市低衝擊開發之綠屋頂應用與效益

關鍵詞：綠屋頂、低衝擊開發、降雨逕流

中國文化大學土地資源系／副教授／陳起鳳 ❶
台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／副理／陳志方 ❷
台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／正工程師／莫懿美 ❸



摘 要 ABSTRACT

因應都市化趨勢以及氣候變遷，都市雨水管理已不同於傳統治水方式，新的雨水管理在國際主要城市逐漸出現，如美國的低衝擊開發(Low Impact Development，以下簡稱LID)，都是以源頭管理方式減少逕流量產生。在各種LID措施中，綠屋頂（green roofs）不需要額外土地空間，且具有多元化環境效益，應用案例日漸增加。但國內的綠屋頂案例不如國外普遍，亦缺乏相關的環境觀測數據。本文介紹綠屋頂在水文、水質、溫度以及碳吸存等各方面的環境效益，以及本土量測資訊，提供未來綠屋頂應用之參考。綠屋頂雖然需要初期建造費用以及後續維護管理，但在考量其整體生命週期所帶來的效益，仍可視為經濟有效的LID措施，值得推廣使用。

壹、前言

1990年以前少於40%的世界人口居住在都市，到了2010年全世界都市人口已超過一半，預計到了2030年會增加到60%。今年世界人口已突破70億人，世界衛生組織(World Health Organization, WHO)預計全世界的都市人口每年增加6,000萬人。所以都市環境管理議題愈發受到重視。不透水鋪面增加是都市化的結果，同時對水文循環有重大的影響。另一方面，氣候變遷已具體發生且預計將比20世紀更嚴重。現在與未來水資源的管理方式勢必與過去傳統方式不同。國際社會為了因應都市化下土地使用性改變與氣候變遷，都市水環境管理已趨向新的治理方式，各國新的都市水環境管理名稱不同，但具有相同中心概念：模仿天然水循環系統。

新的都市雨水管理，美國稱之為低衝擊開發LID(Low Impact Development)，英國稱為永續排水系統SuDS(Sustainable Drainage Systems)，澳洲使用水敏感都市設計WSUD(Water Sensitive Urban Design)，紐西蘭則稱低衝擊城市設計與發展LIUDD(Low Impact Urban Design and Development)，而荷蘭有名的還地於河計畫(room for river)，日本的總合治水策略，新加坡從花園城市改為「水與花園城市」，都是運用各種現地、自然的方式，尋找都市與水共存的方法。所有概念皆“從源頭管理”水的問題，強調多部門的整合，尤其結合水利與都市計畫、建築設計等部門。

美國住宅和都市發展部對LID定義：「利用各種土地規劃和設計之措施與技術，同時可保育自然資源系統並降低建造成本之土地開發方法」。其原則為盡可能減少開發區之不透水

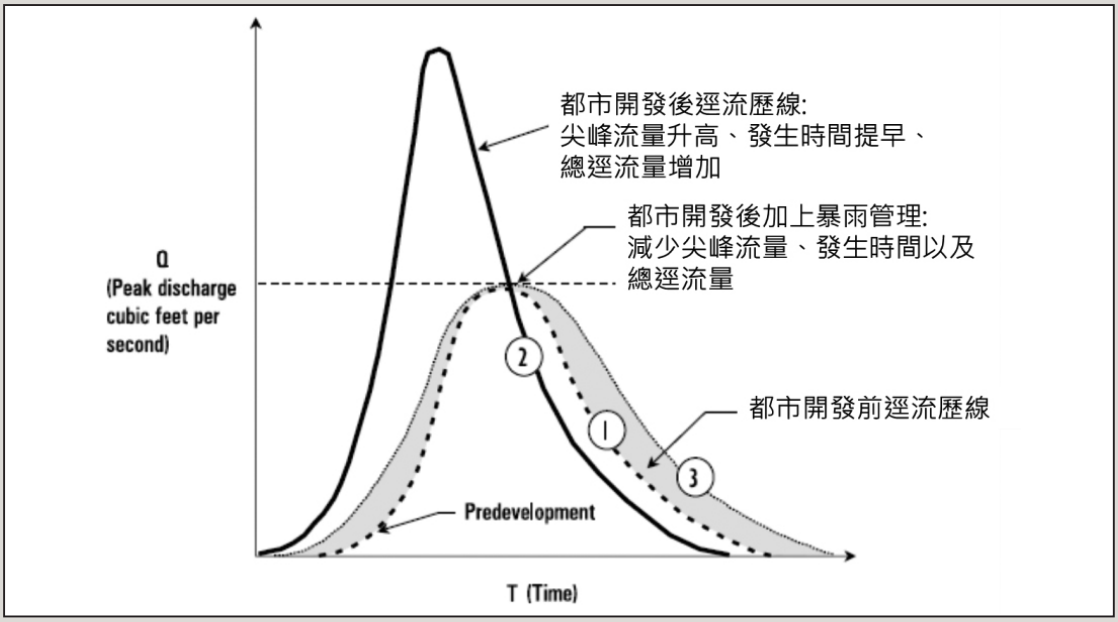


圖1 都市開發前後與加上暴雨管理的水文歷線差異

表面之面積，保持原有之水文狀況，使開發後的水文條件與開發前盡可能相同。透過源頭水文管理方式，讓開發行為成為低衝擊的開發行為，將開發所帶來額外的淹水風險降低，不僅減輕都市下水道系統負擔，更有益於環境、景觀、生態保護，如圖1所示。為了改善都市化對環境的影響，增加綠化面積是最直接的行動方式。在各種LID技術措施中，綠屋頂(green roof)營造綠色植物生長空間，不需要額外土地成本，因此國際上使用綠屋頂的案例快速增加。

貳、綠屋頂介紹

綠屋頂在英文上有幾種名稱，如green roof, planted roof, vegetated roof, grassed roof, eco roof, rooftop gardens，其中以green roof的使用最多(Teemusk, 2009)。通常綠屋頂分為兩類，薄層型(extensive)與厚土型(intensive)，有時可以將兩種混合使用，或以天然草皮為主的型式(natural sod roof)。

薄層型的綠屋頂，其基底層(substrate)深度較淺(<50～200 mm)、整體重量較輕(<50～220 kg/m^2)，植栽種類以草本植物、肉質植物為主，建造費用也相對便宜，通常使用在平台式的屋頂上。而厚土型的綠屋頂則具有較深的土壤層(>200 mm)，重量較重(200～1000 kg/m^2)，因此需要在強度高的建築物上，植物種類包含草本與灌木，甚至喬木。但這類型的綠屋頂需要定期的維護，包括澆水、施肥料、除草等，因此其建造與維護費用較高。兩種綠屋頂的比較如表1。由於維護需求低、對屋頂負荷壓力較小，一般多採用薄層型綠屋頂。

雖然綠屋頂的初始建造費用比較傳統屋頂為高，但若考慮整個屋頂的使用年限(life cycle)，不同屋頂的總生存年成本(cost in life span)，如：瀝青屋頂320美元/每平方公尺、石礫屋頂295美元/每平方公尺、薄層型綠屋頂185美元/每平方公尺、厚土型綠屋頂820美元/每平方公尺(Porsche and Kohler, 2003)，綠屋頂的總成本反而較低。Wong et al.(2003)在新加坡的研究也有同樣結果。因此綠屋頂不僅提供多元化的環境效益，其高經濟效益也推動綠屋頂在國際城市的使用。

表1 綠屋頂種類比較

特性	薄層型(extensive green roof)	厚土型(intensive green roof)
構造	基底層較薄(<50～200 mm) 重量較輕(<50～220 kg/m2) 維修費較低	基底層較厚(>200 mm) 重量較重(200～1000 kg/m^2) 維修費較高
優點	重量輕，可使用於面積廣的範圍 總成本低廉 適用於建築物翻修工程 植物可自行生長 維護成本低	具有多用途，如休憩、種植食用植物 植物種類多樣化 隔熱效果較佳 美觀價值高
缺點	植物種類選擇少 視覺吸引力低	總成本高 不適用屋頂翻修工程 重量大，需考慮屋頂負荷重 需要較多能源、水等資源維護

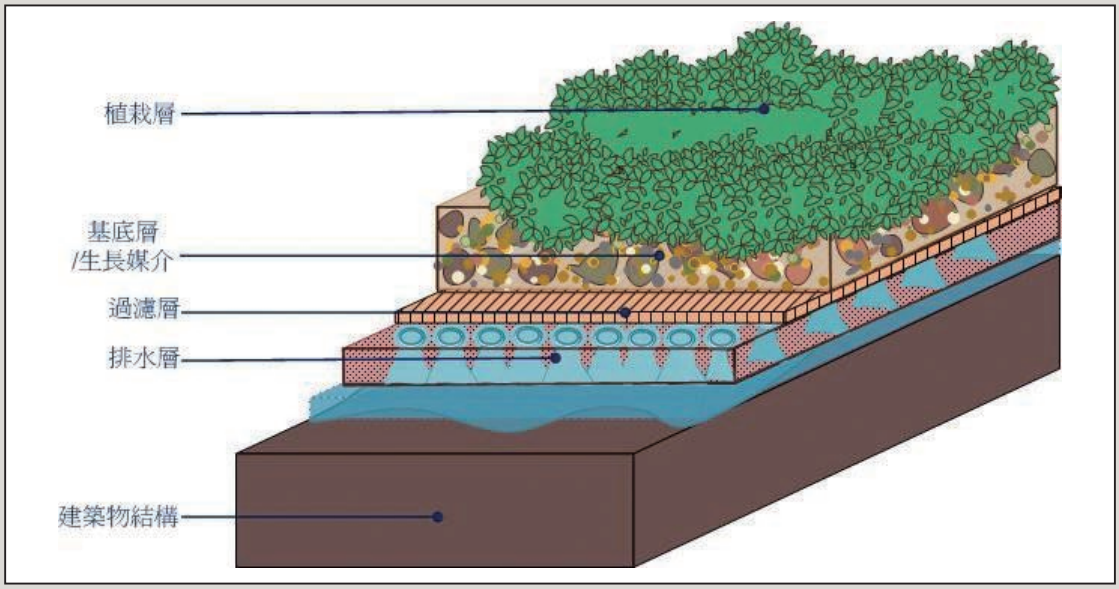


圖2 綠屋頂結構示意圖

不論是薄層型或厚土型的綠屋頂，其基本構造皆具有以下結構，如圖2：

一、防水層(waterproofing layer)：防水層通常以塑膠材質聚氯乙烯(PVC)為主，或者採用柏油、瀝青等材料，其作用與一般屋頂相同，發揮防水功能。但在使用上需注意能避免被植物根系穿透。

二、排水層(drainage layer)：排水層主要目的在儘快排除過多的水分，或土壤內的水分，防止土壤長期飽和。排水層亦有助於底層的透氣。一般使用的排水物料包括顆粒性物料，如砂礫、碎石等，或多孔墊、輕質的塑膠排水模組等。

三、過濾層(filter layer)：用以防止細小顆粒堵住排水層。一般採用纖維物料。

四、生長基層(substrate layer/growing layer)(土壤層)：此層結構為生長媒介，需具有保持水分、排走過多水分、良好透氣、能吸收營養、能讓植物穩固等功能。但因使用於建物屋頂上，綠屋頂的生長媒介應另具輕盈、防火等性質。一般採用天然材料，如土壤、砂礫、有機質、碎磚塊等混合材料。

五、植栽層(plant layer)：所選用的植物應具有能忍受極端溫度、太陽照射、缺水或漫

表2 國內常見的綠屋頂植物種類

科	種
景天科 (Crassulaceae)	萬年草(Sedum pallidum)、垂盆草(Sedum sarmentosum)、圓葉景天(Sedum makinoi)、松葉景天(Sedum mexicanum)、斑葉白佛甲(Sedum lineare var. variegatum)、玫瑰景天(Sedum spp.)、食用石蓮(Graptopetalum paraguayense)
馬齒莧科 (Portulacaceae)	小花松葉牡丹(Portulaca gilliesii)、豔紅牡丹、馬齒牡丹(Portulaca oleracea)、大花松葉牡丹(Portulaca grandiflora cv.)
鴨跖草科 (Commelinaceae)	怡心草(Callisia repes)、吊竹草(Zebrina purpusii)、紫錦草(Setcreasea purpurea)、小蚌蘭(Rhoeo spathaceo cv. Compacta)、斑葉小蚌蘭(Rhoeo spathaceo)
百合科 (Liliaceae)	玉龍草(Ophiopogon japonicus cv. Nanus)、武竹(Asparagus densiflorus)、狐尾武竹(Asparagus densiflorus)、大葉吊蘭(Chlorophytum cmosum cv. Picturatum)
石蒜科 (Amaryllidaceae)	葱蘭(Zephyranthes candida)、小韮蘭(Zephyranthes rosea)
莧草科 (Amaranthaceae)	法國莧(Alternanthera spp.)、迷彩莧(Alternanthera spp.)
禾本科(Poaceae)	台北草(Zoysia matrella)、假儉草(Eremochloa ophiuroides)
其他地被	1. 旋花科(Convoivuiaceae): 馬蹄金(Dichondra micrantha) 2. 桑科(Moraceae):越橘葉蔓榕(Ficus vaccinioides) 3. 鳳梨科(Bromeliaceae):絨葉小鳳梨(Cryptanthus bivittatus) 4. 蓼科(Polygonaceae):粉團蓼(Polygonum capitatum) 5. 夾竹桃科(Apocynaceae):斑葉絡石(Trachelospermum asiaticum cv.) 6. 野牡丹科(Melastomataceae):蔓性野牡丹(Schizocentron elegans) 7. 大戟科(Euphorbiaceae):麒麟花(Euphorbia milli) 8. 蓧蕨科(Nephrolepidaceae):腎蕨(Nephrolepis auriculata) 9. 龍舌蘭科(Agavaceae):虎尾蘭Sansevieria 10. 唇形科(Labiatae): 鑲邊到手香(Plectrathus amboinicus cv.) 11. 鳶尾科(Iridaceae):射干(Belamcanda chinensis) 12. 蕁麻科(Urticaceae):毛蝦蟆草(Pilea nummulariifollia)

資料來源：臺北市錫瑠環境綠化基金會

淹、強風等條件。一般使用於薄層型的綠屋頂植物，應為矮莖、淺根的植物，通常使肉質植物為主。國內常用的綠屋頂植物如表2。

綠屋頂(green roof)除了美觀外，具有調節水文、減少建築物能源使用、改善空氣與暴雨水質、提供生態棲地等環境效益，包括公共效益如：協助暴雨逕流管理、改善空氣品質、改善景觀、環境教育、提供就業機會、減少都市熱島效應、減少能源使用等。另外也有私人效益，如：增加建物價值、延長屋頂壽命、減少暴雨處理費、節省能源費用、減少水費、降低噪音、有益健康與生活品質等。相關研究從最早德國以美觀為目的，文獻記載綠屋頂則在1960年代，1970年代出現綠屋頂對生態的探討，1990年之後，因為氣候變遷議題的普及，綠屋頂對降溫的研究開始出現，2000年後則增加綠屋頂對周遭環境品質的改善分析，包括水、空氣、噪音等，其研究歷程歸納如下圖3。

由於綠屋頂具有各種效益，在一些高度都市化的國家，政府提出激勵誘因，鼓勵甚至強制設置綠屋頂，例如德國與比利時、新加坡、日本等(Chen, 2013)。國內方面，臺北市總合治水方案、新北市的低碳城市、高雄市的綠建築條例、教育部永續校園、地方政府的暴雨自治條例等多方策略中，綠屋頂都被列為其

圖3 綠屋頂相關研究發展歷程

中的實行項目。國內的綠建築發展強調綠屋頂的使用，在建構永續城市中，也提出屋頂綠化的建議。國內第一個綠屋頂協會(http://www.greenroof.org.tw/)於2011年正式成立，相關行業在國內的發展已逐漸活絡。

參、綠屋頂對都市水文影響

綠屋頂植物可以將水份蒸散回到大氣中，而土壤層可以將水分留住，減少直接逕流量，並減緩尖峰流量發生時間。綠屋頂影響逕流的因素包括有基底層厚度、屋頂斜率、植物種類，並與降雨條件有關。Spolek (2008)以三年的實際觀測，認為長期來看，綠屋頂對暴雨逕流減少量在12%～25%之間，但對單場的降雨可以高到85%的減少量，也可以甚至是0%。後者代表沒有減少量，通常發生在大雨事件時，但即使沒有減少逕流量，對於尖峰時間的發生還是能夠減緩一個小時左右。因此綠屋頂可以減輕合流式的污水下水道處理廠的處理量負擔。Mentens et al. (2006)將綠屋頂對都市水文的貢獻歸納為三點：(1)因為綠屋頂把水留住，使得逕流開始的時間延後；(2)減少總逕流量；(3)原先被基底層孔隙留住的水份，慢慢被排出，分散原本強勁的水流。Roehr and Kong(2010)比較不同地區的薄層綠屋頂，發現在柏林能夠保存75%的總降雨、美國波特蘭為69%、美國北卡州有63%與55%，但在加拿大只有26%～29%，推測綠屋頂的逕流削減效率與各地的降雨型態有關。

國內目前無實測的綠屋頂水文實驗，文化大學土地資源系陳起鳳老師曾採用美國環保署發展的都市暴雨逕流管理模式(Storm Water Management Model, SWMM)分析綠屋頂設置對臺北市都市水文的影響。利用中央氣象局台北測站的降雨資料，分別設計重現期5年及25年頻

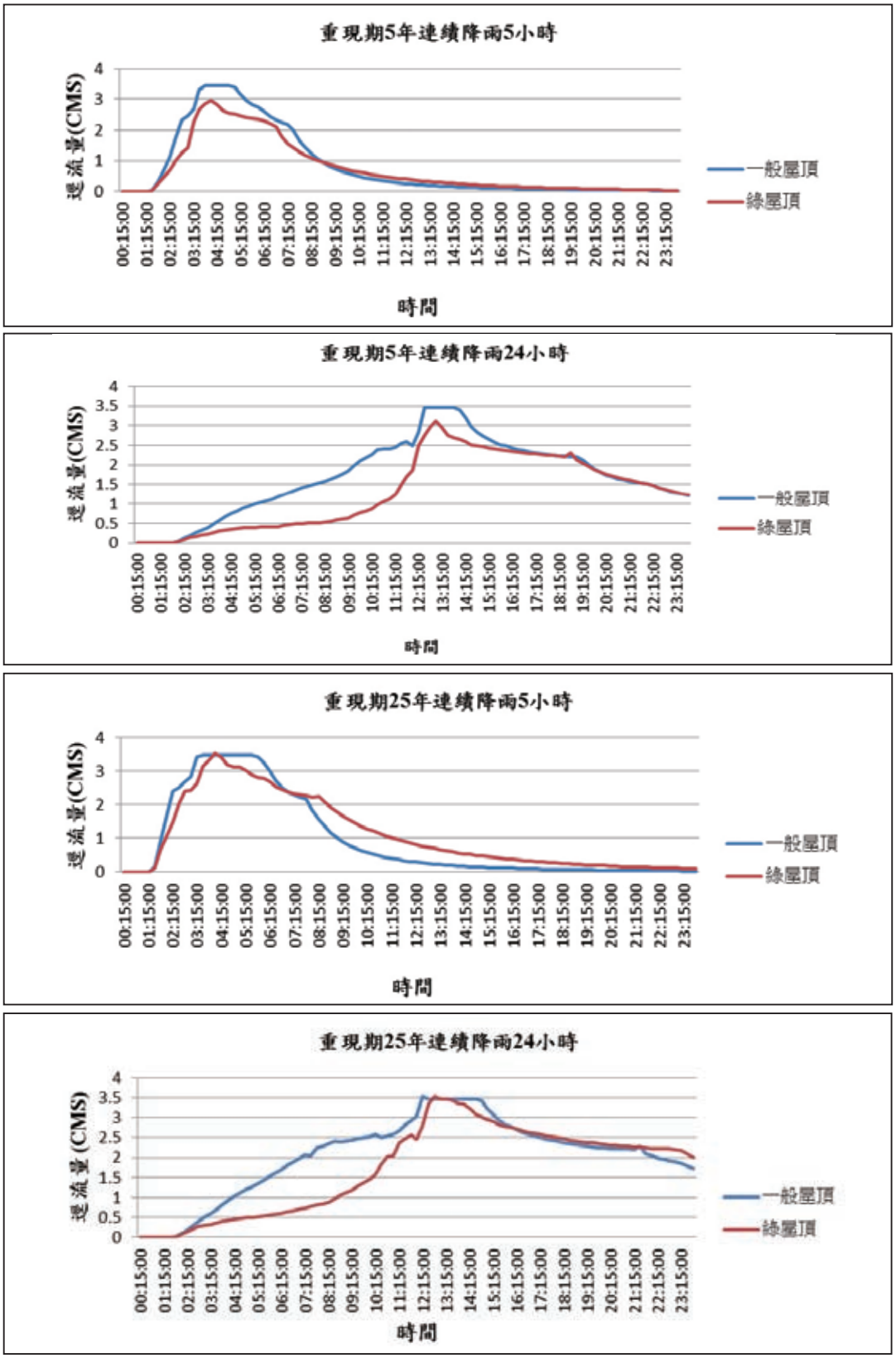


圖4 SWMM模擬臺北市信義區設置綠屋頂的逕流歷線變化

率的5小時以及24小時降雨組體圖，共四個設計暴雨情境。若臺北市信義區內的70%屋頂改為綠屋頂，四個降雨情境的模擬逕流結果如圖4，可減少總逕流量0%～24%，尖峰流量降低0%～14%。其中以降雨強度低、降雨延時長(重現期5年，連續降雨24小時)的效果最好。但在強降雨、短延時的降雨事件(重現期25年，連續降雨5小時)下，設置綠屋頂的總逕流量卻較一般屋頂來的高。尖峰流量方面，結果顯示小降雨事件短延時降雨，比起大降雨事件長延時可以減少較多的洪峰流量，顯示出設置綠屋頂確實是有降低洪峰流量的效果，不過隨著降雨強度與延時的增加，減少洪峰流量的效果也隨之遞減。在強降雨的事件下，雖然尖峰流量沒有減少，但從逕流歷線表現，其上升段逕流有延遲作用，使洪峰發生時間較晚。

擴大分析全臺北市，假設全臺北市屋頂面積有70%設置綠屋頂，且綠屋頂的土壤深度設定為10cm、孔隙率假設0.3，即綠屋頂設置所帶來的滯留水空間為30mm。模擬結果除了士林區，在各行政區都可減少20%以上的總逕流量。士林區的效果僅1%，推測是因為士林區的不透水面積比例最少，所以綠屋頂設置面積相對較小，對於該行政區的影響較低。總逕流量差異最大為大同區，該區不透水面積高、坡度平緩，綠屋頂所提供的逕流延遲與滯留作用相對明顯，年總逕流減少了31%。不過，在SWMM模式模擬中，此窪地深度在每次降雨事件都是有效的，可是實際上綠屋頂的存留體積會達飽和，並非每次降雨都可存留最理想的逕流體積，因此模式模擬結果僅供參考。

肆、綠屋頂對都市水質影響

綠屋頂設置植物與土壤，逕流水質濃度可能會比一般屋頂高，就水質保護立場，若綠屋頂管理不當，可能成為都市內的潛在污染來源。綠屋頂水質與使用年限、生長基質以及施肥行為有很大關係。降雨強度也是影響水質重要原因，Teemusk and Mander (2007)研究中，高降雨強度事件才會有綠屋頂水質濃度高過一般屋頂現象，中小降雨強度時，綠屋頂可以停留雨水，營養鹽與沉積物不會被沖刷出來，對水質改善有益。Rowe (2011)的回顧性文章指出，總合來說綠屋頂對水質有正面幫助，但新設置的綠屋頂，植栽尚未生長完全，基底層營養成分高且有機物分解作用活躍，可能會被認為是污染源，但這種現象在設置一段時間後應可解除，因為生長成熟的植栽以及土壤層可以幫助吸收與過濾污染物質。植栽的選擇、生長基質成份與厚度，也會影響水質。不同植物種類對水量的影響明顯，且植物高度越高、根密度越高，雨水貯留效果越好。另外生長基質(即土壤層)對水質也有影響，尤其要避免其中的營養鹽、沉積物與其他污染物質隨降雨流出。植物需要土壤的有機成分生長，但是有機物分解時，也容易流出污染水質。

根據陳起鳳老師2011年的綠屋頂水質實測實驗，在臺北市信義區三處薄層型綠屋頂(參見圖5)實例進行降雨水質採樣分析。為了比較綠屋頂與一般屋頂的水質差異，另外在同一行政區內民宅頂樓進行一般屋頂採樣。從2011年五月至2011年十月，共採集9次降雨事件，水質分析結果如表3。雨水與一般屋頂的酸鹼值差異不大，平均小於7.0，但經過三個綠屋頂後，酸鹼值提高到8以上，在綠屋頂A甚至高到10以上，可能土壤特性與施肥有關。營養成分硝酸鹽、總磷，經過綠屋頂後，濃度都大為提高，雨水與一般屋頂的氮磷濃度都很低，為天然背景濃度，但綠屋頂的水質營養鹽濃度極高，硝酸鹽可達15mg/L以上、總磷超過0.2mg/L。同樣的，綠屋頂水質中的有機物濃度亦極高，顯示綠屋頂的植物、土壤富含養分，若沒有適當管理，將使得逕流水質的營養鹽、有機物濃度比一般屋頂高出許多。綠屋頂的懸浮固體物也明顯增

綠屋頂A

綠屋頂B

綠屋頂C

一般屋頂(信義區延吉街)

圖5 綠屋頂與一般屋頂實場案例照片

表3 綠屋頂、一般屋頂的雨水平均水質濃度

水質項目 / 採樣地點	pH	DO (mg/L)	NO_3-N (mg/L)	TP (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)
雨水	6.16	6.60	1.14	0.03	25.00	2.10
一般屋頂	6.37	5.36	0.91	0.01	26.67	7.34
綠屋頂	8.26	4.78	8.53	0.13	145.06	110.50

加，若過濾層沒有發揮作用，土壤將隨降雨一同流出，造成固體物濃度提高。監測結果顯示，國內的綠屋頂仍需有良好的操作管理，以免成為污染來源。尤其綠屋頂設置之後，常無足夠經費維護，使得過濾層破洞、排水不良等情況發生，導致植栽生長不好，甚至有外來植物入侵，失去應有的水質改善功效。

伍、綠屋頂對都市溫度影響

綠屋頂有栽種植物，對於建築物來說多了一層隔熱層，比起傳統屋頂有助於建築物降溫，減少受太陽照射的熱量，甚至間接減少建築物內的空調使用，幫助節能。Wong et al.(2003)在新加坡觀察具有綠屋頂的建築物，每年的能源消耗量可節省0.6～14.5%之間。綠屋頂的土壤層厚度也有關，當土壤層厚度增加時，

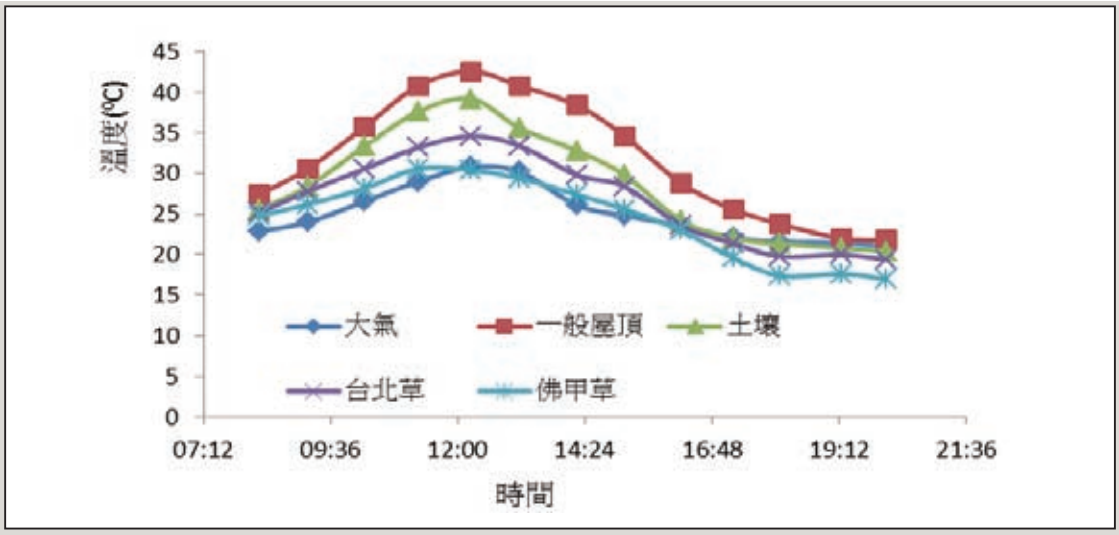


圖6 不同介質表面和環境溫度變化圖

水份含量較多，使得建築物溫度變化較低，能源使用量減少。Carter and Butler (2008)在美國喬治亞大學以及麻州的Tufts University校園內的綠屋頂案例研究，比較建築物冷氣、暖氣使用量，發現有綠屋頂建築物，冷氣量可減少12.1%，而暖氣的使用可減少31.7%。

根據陳起鳳老師在文化大學校園的實測，如圖6為12小時內不同介質表面溫度和環境溫度隨時間變化圖。與環境溫度相比，在最高溫時，一般屋頂比環境溫度高11.8度，但佛甲草在最高溫時，還比環境溫度低5.4度。不同表面溫度在高溫時差異較明顯，低溫時差異較小。此量測結果，環境溫度的高低溫差在10℃左右。但一般屋頂的表面溫度變化達20℃，植栽屋頂的溫度變化幅度較小，佛甲草表面最多相差13℃，台北草表面變動幅度為15℃。一般屋頂表面溫度變化在高溫時顯著提升，溫度上升的比環境溫度要高，但低溫時則與環境溫度相似。植栽表面的溫度變化與環境溫度趨勢一致，但在低溫時，降溫速度比環境快，所以低溫時會比環境溫度低。平均來看，綠屋頂比一般屋頂的表面溫較低，依平均溫度結果其排列順序分別為一般屋頂>土壤>台北草>佛甲草。

陸、綠屋頂對都市空氣污染削減與碳吸存影響

植物可淨化空氣。植物對空氣淨化能力主要來自污染物乾沉降，被植物體攔截而去除，以及植物本身透過光合作用或同化作用，吸收了空氣中的部分污染物。植物對空氣污染物的去除，以顆粒性懸浮固體物以及二氧化碳最為明顯。懸浮固體物會被植物攔截去除，二氧化碳則被植物光合作用而減少。Escobedo et al. (2011)整理都市森林與污染的關係，認為都市森林對污染削減的影響，比其他策略的效果不相上下，的確可做為一種空氣污染削減的方法。植物除了可改善空氣污染外，植物吸收二氧化碳，將碳吸存於植物體內，提供都市內碳抵換(offset)的一種管道。Zhao et al. (2010)分析中國杭州的都市森林可吸存的碳量，每年植物可吸存的碳量為132.8萬噸。這些經由都市森林每年吸存的量，可抵換該城市工業每年排放碳量的18.57%。

雖然綠屋頂植物與都市內高大的行道樹或矮灌木不同，但綠屋頂採用植物為材料，推測應具有與都市森林相似的空氣污染削減與碳吸存功能。此類的研究較少，但Yang et al. (2008)

在美國芝加哥，利用乾沉降模式推估綠屋頂設置對空氣污染削減影響。結果顯示每年每公頃綠屋頂可去除85公斤空氣污染物，包括O_3、NO_2、PM_{10}以及SO_2。Li et al. (2010)在香港研究綠屋頂對大氣CO_2濃度的影響，推得每分鐘每平方公尺的綠屋頂可吸收21mg CO_2，且白天有陽光的CO_2吸收速度是夜間CO_2排放速度的9倍，所以整體來說綠屋頂具有吸收CO_2效果。綠屋頂對碳吸存的研究，如Getter et al. (2009)在美國密西根州以及馬里蘭州的12個綠屋頂量測植物碳量，量測地上生物量、地下根、土壤的碳儲存量，結果顯示整個綠屋頂系統平均可吸存碳375 g/m^2。國內對於綠屋頂的實測研究尚未有空氣汙染與碳吸存等結果，陳起鳳老師曾嘗試進行相關實驗(Chen, 2015)，初步結果台北草在生長過程中，葉片含碳量以及土壤含碳量中都有增加趨勢，顯示具有碳吸存的功能。其他景天科的葉片含碳量與土壤含碳量都有減少情況，但因為沒有量測其生長質量，無法推估碳吸存能力，有待後續研究。

柒、結論與建議

綠屋頂具有多元的環境效益，在國內外被大力推廣使用，但國內的相關科學證據相對缺乏。綠屋頂的設計，包含植栽的種類、生長基質的使用，以及後續的維護管理，都會影響綠屋頂的環境品質表現，若使用不當，可能成為另一種污染來源，甚至損害建築物本身。內政部建築研究所今年(2015)出版綠屋頂技術手冊，提供國人建造本土綠屋頂時的施作與維護參考。

綠屋頂的各種環境效益中，除了溫度的量測數據較多外，其餘的實測資料仍不夠充足，建議未來應多建立本土綠屋頂的觀測數據，以確定並改善國內綠屋頂品質。尤其綠屋頂的逕流水質，需要長時間的觀測，以減少初期建設時的不穩定影響。另外，綠屋頂對於都市熱島效應的減緩效益以及對節能減碳的貢獻，可能是最大的環境效益，但目前尚未有以城市為評估範圍的研究，建議未來應深入探討，配合打造低碳城市或生態城市的目標。

參考文獻

1. 內政部建築研究所，(2015)，屋頂綠化技術手冊。
2. Carter, T., Butler, C. (2008) Ecological impacts of replacing traditional roofs with green roofs in two urban areas. Cities and the Environment. 1(2):article 9.
3. Chen, C.F. (2013) Performance evaluation and development strategies for green roofs in Taiwan: A review. Ecological Engineering 52:51-58.
4. Chen, C.F. (2015). A Preliminary Study on Carbon Sequestration Potential of Different Green Roof Plants. International Journal of Research Studies in Biosciences, 3(5): 121-129.
5. Escobedo, F.J., Kroeger, T., Wagner, J.E., (2011). Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices. Environmental Pollution, 159:2078-2087.
6. Li, J.F., Wai, O., Li, Y.S., Zhan, J.M., Ho, Y., Li, J., Lam, E., (2010). Effect of green roof on ambient CO2 concentration. Building and Environment, 45: 2644-2651.Getter et al. (2009) Carbon Sequestration Potential of

Extensive Green Roofs. Environ. Sci. Technol. 43: 7564 - 7570.

7. Mentens, J., Raes, D., Hermy, M., (2006). Green Roofs as a Tool for Solving the Rainwater Runoff Problem in the Urbanized 21st Century? Landscape and Urban Planning, 77:217-226.

8. Porsche U, Köhler M. 2003. Life cycle costs of green roofs: A comparison ofGermany, USA, and Brazil. Proceedings of the World Climate and Energy Event; 1 - 5 December 2003, Rio de Janeiro, Brazil. (www.gruendach-mv.de/en/ri03_461_u_porsche.pdf)

9. Roehr, E. and Kong, Y. (2010). Stormwater Runoff Reduction Achieved by Green Roofs: Comparing SWMM Method to TR-55 Method. Low Impact Development 2010 Conference, ASCE, US.

10. Rowe, D.B. (2011). Green roofs as a means of pollution abatement. Environmental Pollution, 159: 2100-2110.Spolek, G., 2008. Performance Monitoring of Three Ecoroofs in Portland, Oregon. Urban Ecosystem, 11:349-359.

11. Teemusk, A., Mander, U., (2007). Rainwater Runoff Quantity and Quality Performance from a Greenroof: The Effects of Short-term Events. Ecological Engineering, 30:271-277.

12. Teemusk, A., 2009. Temperature and Water Regime, and Runoff Water Quality of Planted Roofs. PhD Dissertation, Department of Geography, Institute of Ecology and Earth Sciences, University of Tartu, Estonia.

13. 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 Sinapore. Energy and Buildings, 35:353-364.

14. Yang, J., Yu, Q., Gong, P., (2008). Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. Atmospheric Environment, 42:7266-7273.

15. Zhao, M., Kong, Z.H., Escobedo., E.J., Gao, J. (2010). Impacts of urban forests on offsetting carbon emissions from industrial energy use in Hangzhou, China. Journal of Environmental Management, 91(4): 807-813.