

國立勤益科技大學
景觀系碩士班

碩士論文

薄層屋頂綠化植栽選種及灌溉量之研究
—以台北、台中、台南為例

研究生：蔡建泓

指導教授：方智芳 博士

中華民國一百零一年七月

薄層屋頂綠化植栽選種及灌溉量之研究—以台北、台中、台南為例

Study of plant selection and irrigation for thin-layer green roof
in Taipei, Taichung and Tainan

研究生：蔡建泓

指導教授：方智芳 博士

國立勤益科技大學

景觀系碩士班

碩士論文

A Thesis Submitted to
Department of Landscape Architecture
National Chin-Yi University of Technology
in Partial Fulfillment of Requirements
for the Degree of
Master of Landscape
in
Landscape Architecture

July 2012

Taiping, Taichung, Taiwan, Republic of China

中華民國一百零一年七月

國立勤益科技大學

研究所碩士班

論文口試委員會審定書

本校景觀系碩士班蔡建泓君所提論文薄層屋頂綠化植栽選種及灌溉量之研究-以台北、台中、台南為例合於碩士資格水準，業經本委員會評審認可。

口試委員：嚴新富 博士

嚴新富

張莉欣 博士

張莉欣

李美芬 博士

李美芬

方智芳 博士

方智芳

指導教授：方智芳 博士

系(所)主管：

歐文生

中華民國一百零一年七月

摘要

現今都市土地多被人工地盤覆蓋，原有綠地空間逐年縮減，造成都市熱島效應、地表雨水逕流增加等環境問題。解決之道是增加都市綠覆率以減緩都市的環境壓力，然而都市地價昂貴，若要廣設綠地並非易事。因此許多學者提倡以薄層屋頂綠化來增加綠覆率，達到減低地表逕流、延遲都市洪災、緩和都市熱島效應等功效。在歐洲、美國及日本等溫帶國家的相關研究皆認為景天科等多肉植物為薄層屋頂綠化的優勢種。但台灣位於亞熱帶，其氣候條件皆與溫帶的氣候迥異，因此針對台灣的氣候條件探討本土薄層屋頂綠化的適生植物，實有其必要性。本研究旨在探討台灣台北、台中及台南三個地區薄層屋頂綠化的適生植物及最適灌溉頻量，研究結果可作為台灣地區薄層屋頂綠化的選種及灌溉參考。本研究選擇 20 種植物為材料，於台北文山區、台中太平區及台南仁德區設置 2 m×3 m 的薄層屋頂綠化裝置，在樣區中劃設 24 個 50 cm×50 cm 的小樣區，每個小樣區種植一種植物，另設置 4 個裸露土壤區，作為對照組。每月測量植物的覆蓋度及生長指數（長度+寬度+高度），並計算其生長覆蓋度指數（覆蓋度等級×生長指數等級），作為評估植物生長狀態的標準。於土壤中埋設六個土壤水分張力感測器，每日測量其數據，當數據超過 40 k pa 即進行灌溉，每次每個大樣區均勻灌溉 144 L 的水量，相當 24 mm 的降雨量。研究結果顯示腎蕨、武竹、蜘蛛百合、斑葉桔梗蘭、孤挺花、穗花木藍及馬纓丹適合生長在台灣台北、台中及台南三地區。另台北地區適合射干及馬利筋，台中地區適合蔓花生。在年灌溉頻率方面，台北地區平均 17 天澆灌一次，台中地區 9 天澆灌一次，台南地區 8 天澆灌一次。

關鍵字：薄層屋頂綠化、生長覆蓋度指數、水管理

Abstract

In recent years, the environment impact of urbanization are due in part to the replacement of vegetation and soils with hard, impervious surfaces. Causing of urban heat island effect and surface runoff. The improving way is to raise coverage of vegetation. In the previous studies done in foreign, suggested Sedum are the dominant species. However, Taiwan is in the subtropical zone where the climate and plant are different from the temperate zone. Therefore, it is important to discussing what kinds of plant species are suitable for green roof in Taiwan. The goal of this study is to investigate the plant species selection and irrigation of extensive green roof in Taiwan. In this study, choosing 20 kinds of plant as materials. The experiment devices are set up in Wenshan Dist., Taipei City; Taiping Dist., Taichung City and Rende Dist, Tainan City. The extensive green roof devices are 2 m × 3 m and divided in 24 sub-area (0.5 m × 0.5 m). Each sub-area planted one kind of plant species. The other four sub-areas were set as controls test. Monitoring the coverage ratio (image analysis) and growth index (length + wide + height of each plant). Afterward, establish the growth and coverage index (growth index degree × coverage ratio degree) to estimate the growth situation of plant. Six soil moisture sensors were set up in the soil. Everyday monitored the soil moisture data. When the data was over 40 kpa, the irrigation was offered. It reveals that *Nephrolepis auriculata* (L.) Trimen, *Asparagus densiflorus* (Kunth.) Jessop cv. *Sperneri*, *Hymenocallis speciosa* (L. f. ex Salisb.) Salisb., *Dianella ensifolia* (L.) DC. cv. *Silvery Stripe*, *Hippeastrum hybridum* cv., *Indigofera spicata* Forsk. and *Lantana camara* (L.) cv. *Mista* are the suitable plants in Taiwan. *Belamcanda chinensis* (L.) DC. and *Asclepias curassavica* (L.) are the suitable plants in Taipei; *Arachis duranensis* Krapov. & W. C. Greg. are the suitable plants in Taichung. The average irrigation interval was 17 days in north area, 9 days in middle area and 8 days in south area.

Keyword: Extensive green roof; Growth and coverage index; Water regime.

謝誌

這本論文自 2010 年 8 月就開始進行，從文獻蒐集到試驗材料選購，從試驗植栽槽組裝到每個月南來北往的觀察記錄，還有最後猶如作家一般進行論文寫作。這本論文有很多不同的過程，而這些過程也因為有許多師長、同學及朋友的幫助才能一步步地完成。

首先，感謝我的指導老師方智芳博士，謝謝方老師聘任學生為國科會研究計畫案的研究助理，藉由研究計畫案的執行，同時也完成本論文。謝謝老師從試驗裝置規劃到最後論文中每個字句的撰寫，竭力教授且悉心指導。

感謝論文口試委員嚴新富博士、張莉欣博士及李美芬博士，在百忙中空出時間來指導學生的論文。感謝各位口試委員從論文計畫書開始就給與學生正確的研究觀念及建議，讓學生對於研究方法及屋頂綠化各個面向有更廣更深的了解，才能順利的完成本論文。

第二，感謝大學部學弟王為、黃建凱、管浩偉、廖兆偉及碩士班同學紀宜柔在試驗初期付出許多時間與精力協助建構三地區的植栽槽。感謝政治大學地政系孫振義博士、助理楊懿芹小姐、學妹張雅婷及張雅婷的家人在試驗期間協助監測記錄南北兩地的植栽槽土壤水分張力並灌溉，使本研究得以順利進行。

第三，感謝承園景觀有限公司在修業期間給予實習機會，並聘任本人為設計助理，除了讓學生提早認識業界操作模式之外，還給予經濟上的支持。

最後，感謝我的家人及在求學階段曾幫助過我的人，感謝你們默默的關心、鼓勵。雖然現今擁有碩士學位已相當普及，但是因為有你們的支持，我的碩士學位變得更有意義、更有價值，謝謝大家！

蔡建泓

2012.07.

目錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
謝誌.....	iii
目錄.....	iv
圖目錄.....	i
表目錄.....	ii
第一章 緒論.....	1
第一節 研究動機與目的.....	1
一、研究動機.....	1
二、研究目的.....	3
第二節 研究內容與流程.....	4
一、研究內容.....	4
二、研究流程.....	5
第二章 文獻回顧.....	7
第一節 屋頂綠化相關名詞解釋.....	8
一、特殊綠化空間.....	8
二、人工地盤綠化.....	8
三、屋頂花園.....	8
四、屋頂綠化.....	8
五、薄層屋頂綠化(生態屋頂、綠屋頂).....	9
第二節 屋頂綠化發展歷程.....	11
一、古代的屋頂花園.....	11
二、中世紀的屋頂花園.....	11
三、十七至十九世紀的屋頂花園.....	11
四、第二次世界大戰(西元 1939-1945 年)後的屋頂花園.....	12
五、薄層屋頂綠化.....	13
第三節 屋頂綠化相關研究.....	15
一、屋頂綠化類型及結構.....	15
二、屋頂樓板承重限制.....	19
三、栽培介質深度相關研究.....	20

四、栽培介質配比相關研究	21
五、灌溉水量及頻率相關研究	25
六、植栽選種相關研究	26
七、植栽生長狀況評估方法	33
第五節 屋頂綠化環境效益	39
一、緩和都市熱島效應	39
二、減少建築耗能	40
三、減緩雨水逕流產生	41
第三章 材料與方法	45
第一節 試驗地點與試驗裝置	45
一、試驗地點及時間	45
二、試驗期間氣象狀況	46
三、試驗裝置	48
第二節 試驗設計	50
一、植栽種類	50
二、介質條件	60
三、灌溉量	60
四、資料蒐集方法	62
五、資料分析方法	66
第四章 結果分析	67
第一節 植物生長狀況	67
一、生長指數統計結果	67
二、覆蓋度統計結果	74
三、生長覆蓋度指數統計結果	83
第二節 灌溉水量及頻率	92
第五章 討論	95
第一節 植物生長狀況	95
一、二十種植物生長狀況	96
二、五類植物生長狀況	105
第二節 灌溉水量與頻率	110
第六章 結論與建議	111
第一節 結論	111
第二節 建議	113
參考文獻	115

附錄(一)試驗儀器	121
附錄(二)氣象數據	122
附錄(三)試驗植栽照片	123
附錄(四)試驗植栽種植初始尺寸	125



圖目錄

圖 1 研究流程圖.....	5
圖 2 屋頂綠化的類型圖.....	15
圖 3 屋頂綠化結構層剖面圖.....	16
圖 4 傳統屋頂花園與薄層屋頂綠化結構比較圖.....	17
圖 5 生態屋頂結構圖.....	19
圖 2 簡易/薄型人工輕量土壤施工法範例圖.....	20
圖 7 試驗植栽槽照片.....	46
圖 8 試驗期間(2011 年)台北、台中及台南降雨量統計圖.....	47
圖 9 試驗期間(2011 年)台北、台中及台南氣溫統計圖.....	47
圖 10 試驗期間(2011 年)台北、台中及台南日射量統計圖.....	48
圖 11 試驗植栽槽結構圖.....	49
圖 12 薄層屋頂綠化模擬裝置.....	61
圖 13 植栽種類及土壤水分張力感應器分佈位置圖.....	62
圖 14 運用影像處理計算覆蓋度對照圖.....	64
圖 15 二十種植物生長指數折線圖.....	73
圖 16 二十種植物覆蓋度折線圖.....	82
圖 17 二十種植物生長覆蓋度折線圖.....	91
圖 18 台北、台中及台南三地降雨量及薄層屋頂綠化灌溉水量累計直條圖.....	94
圖 19 台北、台中及台南地區二十種植物生長覆蓋度指數趨勢圖.....	105

表目錄

表 1 傳統屋頂綠化施工與薄層屋頂綠化施工比較表.....	18
表 2 屋頂綠化常用之輕量介質特性表.....	22
表 3 屋頂綠化常見介質的理化性狀.....	23
表 4 國內外屋頂綠化研究之介質深度與材料整理表.....	37
表 5 國內外屋頂綠化研究之植栽選擇整理表.....	38
表 6 初選試驗植栽名錄表.....	52
表 7 二十種試驗植栽特性整理表.....	53
表 8 生長覆蓋度指數分級表.....	65
表 9 台北、台中及台南薄層屋頂綠化灌溉頻率統計表.....	93
表 10 台北、台中及台南地區降雨量統計表.....	93
表 11 台北、台中及台南地區植物生長狀況表.....	104



第一章 緒論

第一節 研究動機與目的

一、研究動機

自十八世紀工業革命起，在創造財富經濟的同時，也給現代都市帶來了種種問題。全球各大都市規模越來越大，都市化的問題也趨於明顯，快速的建設使都市中綠地面積急劇下降，導致都市景觀及生態惡化，都市居住環境品質亦隨之下降(Sendo *et al.*, 2010)。由於都市土地大都被人工地盤覆蓋，而這些人工地盤多為混凝土、瀝青等不透水且吸熱的材質(Wong *et al.*, 2003)，因此都市中所產生的溫室氣體不易消散，造成都市熱島效應，間接使建築耗能。此外不透水層使雨水無法滲透，造成雨水逕流量增加，而導致都市洪災等問題(石婉瑜，2004；Mentens *et al.*, 2006)。

爲了減緩都市環境壓力，國內外許多研究證實薄層屋頂綠化具有減緩都市熱效應(Wong *et al.*, 2003； Hien and Jusuf, 2008；日本財團法人都市綠化技術開發機構，1998^a；黃國倉，2011)、建物節能(許瑞銘，2006；連祥萍，2009；蘇榮宗，2009；方智芳，2011^a；方智芳，2011^b)、減少都市暴雨逕流(日本財團法人都市綠化技術開發機構，1998^a；石婉瑜，2004；Mentens *et al.*, 2006；施几文，2009；Voyde *et al.*, 2010)、增加棲地(Nagase and Dunnett, 2010)等機能，近年來受到各國的重視。而維持薄層屋頂綠化之機能的關鍵在於所種植的植栽是否生長良好(Bousselot *et*

al., 2011; Getter and Rowe, 2009)。目前薄層屋頂綠化較為完備的研究多來自溫帶國家，相關研究認為多肉植物，特別是景天科(*Sedum spp.*)植物為薄層屋頂綠化的適生植物(Durhman et al., 2007; Monterusso *et al.*, 2005; Nagase and Dunnett, 2010; Rowe *et al.*, 2006; Thuring *et al.*, 2010)，其淺根、高覆蓋度、耐旱及生長緩慢等特性，對於薄層屋頂綠化而言，具良好的環境效益。

然而台灣地處亞熱帶季風氣候區，高溫多溼的氣候與溫帶國家迥異，因此溫帶國家所推薦的多肉植物未必適合台灣地區。台灣日照及雨量充足，可適應的植物種類多，且引進栽培許多植物品種均有良好的適應能力，其中有些宿根草本植物為多年生、淺根及低維護管理等特性，均可能成為薄層屋頂綠化的潛力植物，若能針對台灣薄層屋頂綠化適生植物作研究，將可建立屬於本地區的薄層屋頂綠化植物資料庫。

另外，因薄層屋頂綠化受建築物樓板承重限制，所設置之土層較薄，導致植物之養分及水分供給有限，加上屋面上無遮蔽物庇蔭，所受到的日照及風等侵害較強，在一日之間土溫波動變化大，對植物而言是一個極惡劣的生長環境。有學者指出薄層屋頂綠化若能設置灌溉系統，將有助於植物的生長(Rowe, *et al.*, 2006)。台灣雖然雨量豐沛，但是部分地區仍有明顯旱季情形，且台灣地形為南北長東西窄，山脈多為南北走向，因此河川短促，蓄水不易，屬缺水國家，因此若能研究薄層屋頂綠化的適宜灌溉量，將可更有效地利用水資源。

近年台灣地區已有薄層屋頂綠化的相關研究(方智芳，2009；施几文，2009；許瑞銘，2006；劉思吟，2011；蘇榮宗，2009；方智芳，2011^a；方智芳，2011^b；

方智芳，2012)，由於各研究的試驗區位、氣候不同，所使用的試驗方法及材料也不一致，難以進行歸納比較，使得各研究結果僅能做為個案的探討。因此，若能以統一的研究方法在台灣不同地區作薄層屋頂綠化適生植物及適宜灌溉量的研究，將可成為本地區薄層屋頂綠化在推廣或建置時的植栽選種及維護管理之參考。

二、研究目的

台灣地區對於薄層屋頂綠化的發展處於起步階段，因此建立屬於在地的薄層屋頂綠化相關資料為推廣薄層屋頂綠化之首要工作。故本研究欲藉由統一的研究方法及試驗裝置，在台北、台中及台南三個區位相異且建築密度較高的區域內同步進行試驗。評估 20 種植物的生長狀態及灌溉量，進而篩選出薄層屋頂綠化適生植栽種類及三個地區的灌溉量。本研究目的如下：

- 1.選出台北、台中及台南三地區之薄層屋頂綠化優勢植物種類，提供三地區的植栽材料選擇之參考；
- 2.探討台北、台中及台南三地區之薄層屋頂綠化灌溉水量與頻率，提出三地區的最適灌溉管理之建議。

第二節 研究內容與流程

一、研究內容

本研究內容依章節次序共分為六章，第一章緒論，闡述本研究動機、目的，研究流程等。第二章文獻回顧，從屋頂綠化發展歷程至蒐集近年專家學者對於薄層屋頂綠化所使用之栽培介質、植物選種等研究作一歸納整理。第三章材料與方法，整合文獻中建議的薄層屋頂綠化需具備的介質層深度與配比、試驗植栽種類等於台灣三個試驗場地進行試驗，此章中並說明及規範試驗材料、試驗設備及監測方法。第四章試驗結果分析，以記錄植物生長狀態及澆灌頻率等參數並分析之，作為各地適生植物種類判斷依據。第五章討論，總結試驗結果分析之數據，並討論其相互影響關係。第六章結論與建議，綜合第四章結果及第五章討論之研究成果，並建議後續研究可操作方向(圖 1)。

二、研究流程

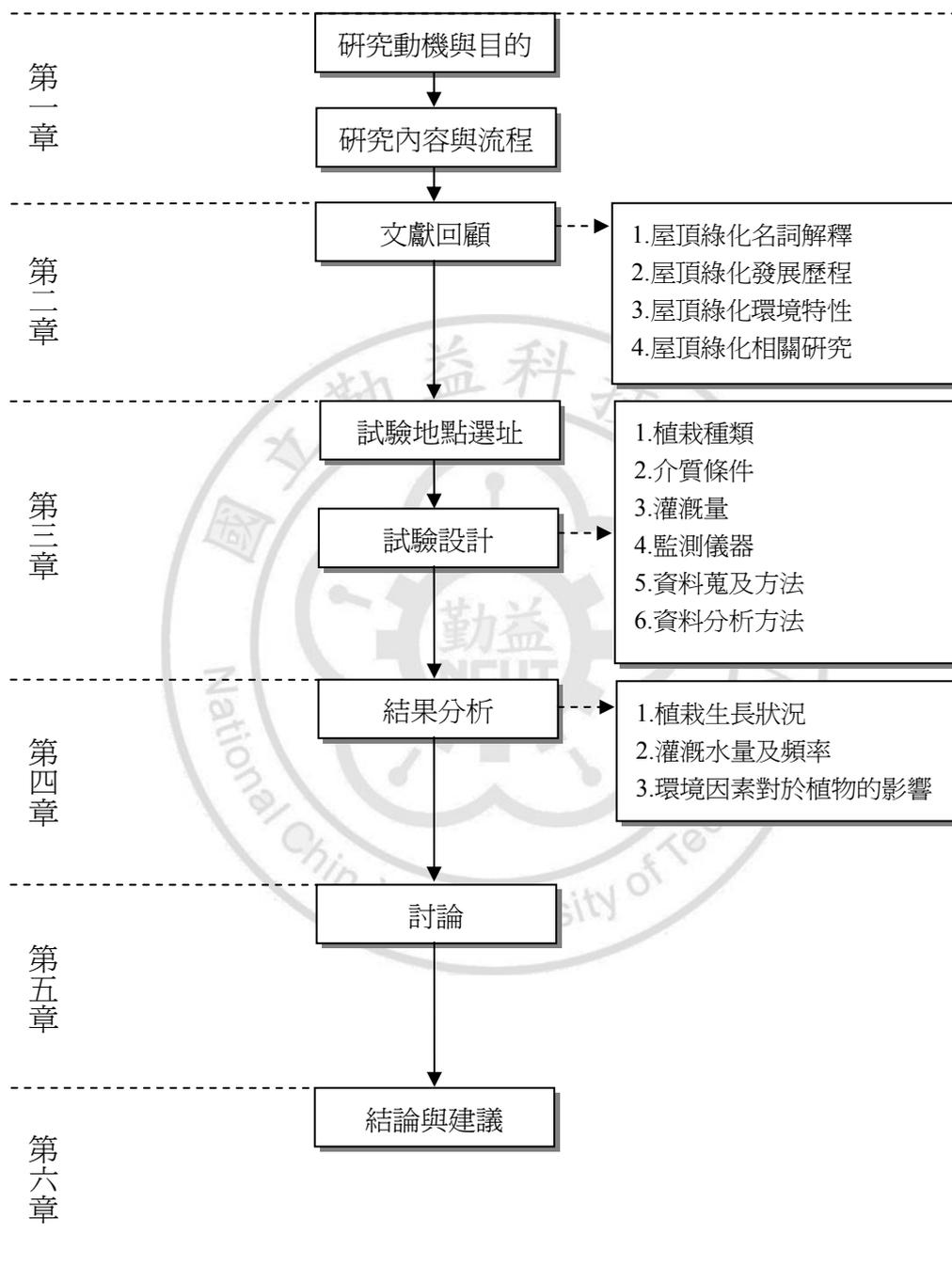


圖 1 研究流程圖
(資料來源：本研究繪製)



第二章 文獻回顧

由於近代人類對地球資源及自然環境的破壞，導致近年全球氣候異常現象越來越明顯，許多學者試圖以屋頂綠化及立體綠化等補償的手法減緩環境惡化，因此屋頂綠化技術為目前自然科學領域中重點研究之一。現今的薄層屋頂綠化技術是由屋頂花園的概念而來，相同的是都是在人工地盤上這類型的特殊空間作綠化，不同的是人們對於它的使用機能產生改變。另外，屋頂上植栽所生育的氣候環境及土壤等條件不同於自然土地，需考量這類型的特殊綠化空間之環境特性。據此，本研究從屋頂綠化相關名詞解釋、屋頂綠化發展歷程、屋頂綠化的環境特性了解屋頂綠化建置前的基礎知識，再透過屋頂綠化相關研究及產生的環境效益之文獻作為後續試驗設計的參考依據。

第一節 屋頂綠化相關名詞解釋

一、特殊綠化空間

日本財團法人都市綠化技術開發機構(1998^b)定義「特殊綠化空間」是指人工創造出來的空間、建在都市內的空間、以一般植栽技術無法成功植育植物的空間及希望綠化的空間，而「特殊空間綠化」是指在特殊空間進行綠化工作的總稱。特殊綠化空間可區分成室外的人工地盤、室內及牆面三大空間，室外人工地盤包括道路、停車場、建築物屋頂或土木結構物上的廣場等。

二、人工地盤綠化

龜山 章(1998)於最先端的綠化技術一書中，定義人工地盤，即以人工構築的地盤，是建築構造物之植栽所需之地盤。人工地盤之綠化，是隨著都市空間之高度利用逐漸需要的技術，其目的隨著都市空間之高度利用化而演變。這種技法開始於屋頂庭園，是在建築空間延伸而來，使土地有效的被使用。

三、屋頂花園

徐峰等人(2004)認為屋頂花園是指一切建築物和構築物的頂部、城圍、橋樑、天台或是大型人工假山山體等之上所進行的綠化裝飾及造園活動。屋頂花園建設的重點是根據屋頂的結構特點及屋頂上的生境條件，選擇生態習性與之相適應的植物材料，通過一定的技術藝法，創造豐富的景觀。

四、屋頂綠化

中國北京市品質技術監督局(2005)對於屋頂綠化訂定之規範中，定義在高出地面以上，周邊不與自然土層相連接的各類建築物、構築物等的頂部以及天臺、露臺上的綠化為屋頂綠化；根據屋頂具體條件，選擇小型喬木、低矮灌木和草坪、地被植物進行屋頂綠化植物配置，設置園路、座椅和園林小品等，提供一定的遊覽和休憩活動空間的複雜綠化為花園式屋頂綠化(intensive roof greening)；利用低矮灌木或草坪、地被植物進行屋頂綠化，不設置園林小品等設施，一般不允許非維修人員活動的簡單綠化為簡單式屋頂綠化(extensive roof greening)。

涂智益(2006)指出屋頂綠化廣義的定義，將建築物的屋頂由人工的方式整建植栽的基礎後，進行綠化的工作。屋頂綠化的目的，就是將建築物屋頂藉由草皮、屋頂農園、綠化屋頂等各種型式達到綠化型態。屋頂花園也是藉由多樣的植栽依屋頂的形狀來製作，稱為精緻型綠化(intensive greening)。如果考慮重量時，並用草花或野生草花等單一和簡單的植栽覆蓋在屋頂上面，稱為粗放型綠化(extensive greening)兩種。這兩種從景觀或用途上各有其差異性。

五、薄層屋頂綠化(生態屋頂、綠屋頂)

財團法人台北市錫瑠環境綠化基金會(2007)定義廣義的「綠屋頂」泛指有植物覆蓋的屋頂，包括庭園式的「空中花園」、盆栽式的「簡易屋頂花園/菜圃」以及在功能上更強調節能、省工的「薄層式綠屋頂」。後者乃狹義的「綠屋頂」簡稱，在德國、日本等先進國家已開發現代化的系統，將綠屋頂的基本單元：植被層、介質層、排水層、防根層和防水層等像其他建材一般，以標準化技術施作應用於都市建築。

財團法人台北市錫瑠環境綠化基金會(2007)定義薄層屋頂綠化指在屋頂上鋪設淺薄的輕質人工混合介質，並種植強韌、低矮、具自生性的地被，以適應燠熱、乾旱、強風等不利環境，達到提昇環境效益、永續節能的目的。雖不若傳統屋頂花園般多樣美觀，卻具有低維護管理、低承載需求、費用經濟等特性，在歐美、日本等國家，甚至是中國，都已大量用於都市屋頂上，儼然已是一專門的技術及產業。而 Weiler 和 Scholz-Barth (2009)定義生態屋頂(living green roof)是使用厚度少於 8 英寸(約 20 cm)的生長介質於薄層結構上的裝置。

小結：

在十八世紀工業革命後，人口往都市集中的情形越來越嚴重，造成都市化的影響。都市中綠地不斷縮減，原有的綠地變成廣場、道路、停車場、建築物等人工地盤，居民居住品質也隨之惡化，因此人們開始尋求在這些人工地盤做些補償的動作，在這些非自然土地上做綠化的工作就屬於特殊綠化空間。然而，都市可使用的土地有限，於是早期都市便在面積較大、使用率較低、較私密性的閒置空間的建築物屋頂上建置屋頂花園，這類型屋頂花園主要機能在於仿效自然綠地，營造休憩環境，所使用的植栽、設施等材料並未全然考量為屋頂環境的特殊性，造成需要以高維護管理、高營建成本等經營。近代屋頂綠化主要以環境效益為考量，著重在屋頂綠化的機能，其中又以薄層屋頂綠化是最符合低維護管理、低營建成本等即可達到最佳環境效益。但是各個國家氣候條件不同、當地資源資材不同等，在薄層屋頂綠化上所能使用的植栽、材料等需有適地性的考量，才能達到改善都市環境，提升生活品質的最初人工地盤綠化目的。

第二節 屋頂綠化發展歷程

一、古代的屋頂花園

在歷史上，最早的人工地盤綠化是出現在公元前 2000 年左右，由古代蘇美爾人所建立的烏爾城(Ur)中的「亞述古廟塔」(通天塔)，該遺蹟的台面上有種植過雪松、黃楊、各種果樹及沒藥等灌木的痕跡。再者為在公元前 604-562 年由新巴比倫王國的尼布甲尼撒二世(Nebuchadnezzar)在巴比倫城所建的空中花園¹，園中將植栽種植在由瀝青及磚塊構建的四層平台上，且設置灌溉系統提供植物水分，而為了使各層平台之間不滲水，在平台上先鋪設石板，石板上鋪設浸透柏油的蘆葦墊，再鋪上兩層磚和一層鉛片作防水，填入 4-5 m 的腐質土壤，上面種植棕櫚等耐旱耐鹽植物。另外，在古希臘阿多尼斯花園及龐貝城(Pompeii)的別墅遺跡的屋頂上也發現種植過植物的痕跡(黃金錡，1994；徐峰等人，2004)。

二、中世紀的屋頂花園

在法國的聖米歇爾山(Mont- Saint- Michel)聖瑪洛河谷中的基督教修道院有屋頂花園裝置。在義大利第一個屋頂花園則為鮑彼·皮勿斯(Pope Pius)二世在執政期間於佛羅倫薩南部興建的私人住宅，屋頂上蓄土種植大量珍稀花木。還有文藝復興期所興建的本尼托尼塔(Benettoni)，屬古尼吉斯(Guinigis)塔式屋頂花園，曾種植四株 15 英尺(4.5 m)的櫟樹(徐峰等人，2004)。

三、十七至十九世紀的屋頂花園

¹空中花園為希臘文 *paradeisos* 翻譯，是現今英文 *paradise* 天堂的原字。

十七世紀時，德國德國樞機卿(Johannvan Lamberg)在他住所(Passau)屋頂上建造裝飾性的花壇。同時期，俄羅斯的克里姆林宮建造一座兩層的屋頂花園，頂層花園修建在拱形柱廊之上，由石牆環繞並利用焊接方法做防水層，在盆鉢裡種植果樹、灌木及葡萄等(黃金錡，1994)。此時期屋頂花園多為皇宮貴族為了彰顯財富、權力而建置的觀賞型、休憩型的屋頂花園。另外，早期挪威人為了抵抗嚴冷的寒冬，在屋頂上種植草坪增加室內保暖。德國於 1880 年代末期因應柏林市的快速工業化與都市化，在市內興建營房給勞工人口居住，此建築屋頂為可燃性防水材料，容易起火，因此屋頂工 H. Koch 發明一種特殊焦油，解決屋頂防水與防火的需求。這種特殊材質屋頂，產生許多孔隙利於野生植物生長，形成自然的屋頂綠化(徐峰等人，2004；行政院公共工程委員會網站，2012)。可發現此時的屋頂綠化裝置從觀賞型漸漸轉變為生活機能需求型。

四、第二次世界大戰(西元 1939-1945 年)後的屋頂花園

於 1882 年美國紐約音樂家魯道夫(Rudolph) 設計屋頂劇場，名為娛樂宮劇院(Casiontheater)，種植草皮的屋頂可為演員和觀眾擋雨。以及於 1895 年在奧斯卡的奧林匹亞音樂廳的屋頂花園，則是由草地包圍，從地下室直接抽水到外面的屋頂邊緣，在夏天時可降溫，也可以隔絕城市噪音。由於屋頂劇院帶給美國人民及商人深刻的印象，在二十世紀二十年代初，有一些旅館也設計了屋頂花園，例如阿斯特旅館在屋頂花園上面擺放盆栽植物及設施(徐峰等人，2004)，此時期多以城市娛樂、休閒需求而興建屋頂花園。在二戰及工業化後，由於汽車工業發展快速，停車場成為城市主要空間元素，因此許多地下停車場的屋頂和廣場開始進行綠化(1924 年舊金山聯邦廣場)，初期的屋頂綠化多以美觀、營利為目的，鮮少關

注生態、節能等議題。直到西元 1959 年在美國加利福尼亞州奧克蘭市的凱澤中心 (Kaiser) 六樓的屋頂上，建造了一座面積 1.2 ha 的屋頂花園。這座屋頂花園考量了許多屋頂綠化技術上的問題，例如以架空輕質土形塑假山坡及將大樹種植在結構位置上等以減緩屋頂結構荷重、以特製輕質土壤及選擇根系較不發達的樹種以減少土層深度、使用自動排灌系統等技術，另外還考量高樓強風干擾問題及鄰棟建築的俯視景觀美質等藝術問題，為開創現代屋頂綠化最早的先端技術(黃金錡，1994；徐峰等人，2004)。

五、薄層屋頂綠化

最早推行屋頂薄層綠化的國家為德國，在 1960 年代，德國柏林自由大學的學者萊因哈德·博恩卡姆(Reinhard Bornkamm)著手研究自生型野草屋頂建築的植物生態，並在柏林自由大學的建築物樓頂上，建立第一個薄層屋頂綠化裝置。且德國自 1957 年起以環保的角度提出屋頂綠化是建築破壞自然的一種補償，開始全面推廣生態的屋頂綠化，德國的「景觀發展與景觀建築研究協會」(Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.；FLL)制定屋頂綠化發展原則、指南與規範(黃金錡，1994)。

德國屋頂綠化系統包括四個重要的組成部分：過濾層、蓄排水盤、保濕保護毯及隔根層。過濾層可以確保不使土壤微細顆粒進入蓄排水盤內，蓄排水盤能保存大量雨水，又可快速排出過剩雨水的兩大功能。保濕保護毯除了蓄水的功能外，同時也對防水層和隔根層具有保護作用。隔根層可以有效的阻止植物根系對建築物結構和防水材的破壞。而屋頂綠化的植物是以景天科植物的混植草坪或本土化的野花、野草的純自然綠化(中華民國行政院公共工程委員會網站，2010)。

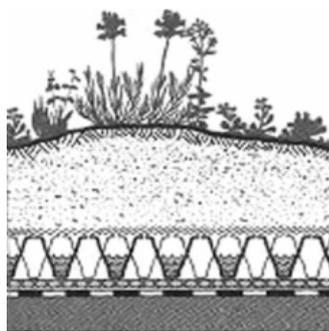
由於近年薄層屋頂綠化技術趨於成熟，其機能已從以往屋頂花園的休憩型態轉為薄層屋頂綠化的生態機能趨向，而世界各國政府也開始將屋頂綠化列為環境保護政策之一。例如美國芝加哥市政廳建築上的薄層屋頂綠化裝置，種植了超過 100 種的植物，形成自然植物群落，帶領芝加哥地區設置薄層屋頂綠化風氣。在英國則是以倫敦薩頓(Sutton)的貝丁頓社區最為符合現代環境生態需求，這個社區結合綠建築概念，利用薄層屋頂綠化、太陽能光電板及通風等裝置，建立一個低能耗，甚至是零能耗的社區。

台灣在薄層屋頂綠化營造或政策上雖然屬於起步階段，但是已有相關單位投入相當多的時間及金錢研究開發，例如台北市錫瑠環境綠化基金會在台北多處學校或公共建築上設置薄層屋頂綠化，建立許多屋頂綠化基礎資料並證實其環境效益，著名的案例有信義區公所、信義國中及吳興國小等。學界也有許多學者建立薄層屋頂綠化裝置進行研究，例如政治大學行政大樓、勤益科技大學管理館、成功大學綠色魔法學校等。另外，政府單位在公共建築上亦建置推廣薄層屋頂綠化，著名的案例有北投圖書館、花博新生三館等。

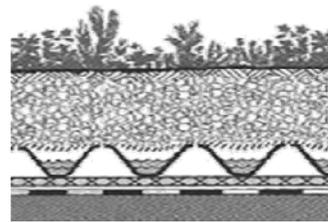
第三節 屋頂綠化相關研究

一、屋頂綠化類型及結構

屋頂綠化的類型可依介質層深度、養護管理及灌溉條件等差異分為精緻型(intensive)及粗放型(extensive)(圖 2)，介質層的深度影響種植植栽種類、維護管理及建築結構承重考量等因素。精緻型屋頂綠化介質層深度較深，大於 20 cm 以上，在有提供灌溉系統狀況下，可種植的植物種類較廣泛。相對地，整體結構重量較重，建築結構需有額外承重設計，增加營建成本。反之，粗放型屋頂綠化多使用輕量介質以減輕樓板承重，建築物不需額外承重結構設計，造價較低。其介質深度從 2 cm 至 20 cm 不等。由於屋頂上強風、長日照，導致介質層水分及溫度波動大，可種植的植栽種類較少，多以低維護、多年生耐旱植物為主(Wolf and Lundholm, 2008; Weiler and Scholz-Barth, 2009; Nagase and Dunnett, 2010; Sendo *et al.*, 2010; Bousselot *et al.*, 2010; Thuring *et al.*, 2010; Bousselot *et al.*, 2011; Maclvor and Lundholm, 2011)。



精緻型屋頂綠化



粗放型屋頂綠化

圖 2 屋頂綠化的類型圖

(資料來源：徐峰等人，2004)

爲了使植物種植在屋頂上和種植在地面上有相似的生長條件，屋頂綠化的結構設計除了須滿足屋頂防水及承重，還須考量植栽生長、介質排保水以及防止植物根系破壞建築樓板等需求。引用美國 Emory Knoll 農場有限公司於 green roof plant 網站上所介紹的屋頂綠化結構圖(圖 3)，從下而上可分爲：防水層(The Roof Deck with insulation and waterproofing)、保護層(Protection and moisture storage layer)、排水層(Drainage Layer)、過濾層(Filter Layer)、介質層(Growing Media)、植栽層(Green Roof Plants)。從圖面上可得知排水層有兩種設計型式，一種爲使用排保水板(圖 3 左圖)，另一種則使用透水及配料作爲排水層(圖 3 右圖)。使用排保水板的屋頂綠化結構較爲輕量且保水性較佳。

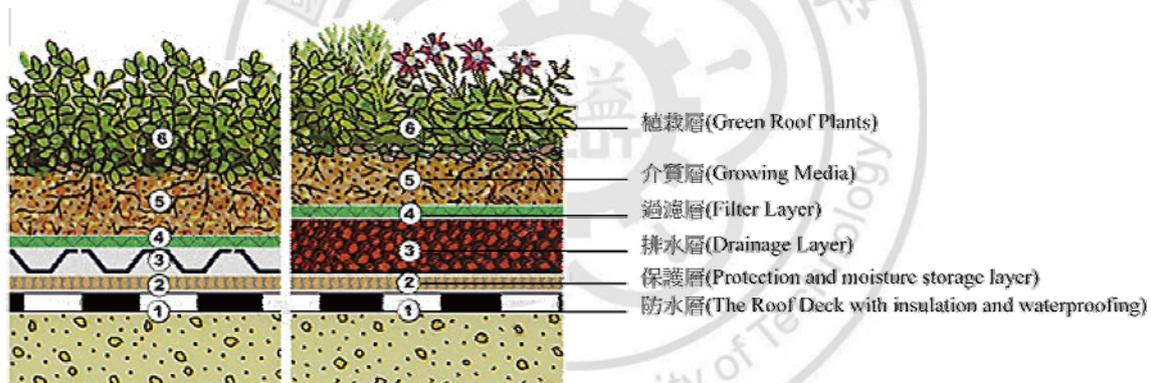


圖 3 屋頂綠化結構層剖面圖

(資料來源：改繪自 GREEN ROOF PLANTS 網頁，2012)

根據新北市綠能屋頂示範計畫網頁(2012)於新北市 2011 年綠能屋頂示範計畫中所整理的資料顯示，屋頂綠化的結構依屋頂本身的建築條件及需求效果不同，而略有差異。主要結構由下至上包含防水層、保護層(阻根層)、排水層、過濾層、介質層與植栽層。其中排水層與過濾層得視個別情況或介質功能決定設置與否。該計畫整理出傳統屋頂花園與薄層屋頂綠化在結構上的差異(圖 4 及表 1)，發現傳

統屋頂花園排水層及土層較厚，所種植的植栽也不同。並計算兩種屋頂綠化層在土壤水容量飽和狀態之重量，傳統屋頂花園約為 300-1000 kg/m²，薄層屋頂綠化為 80-150 kg/m²。

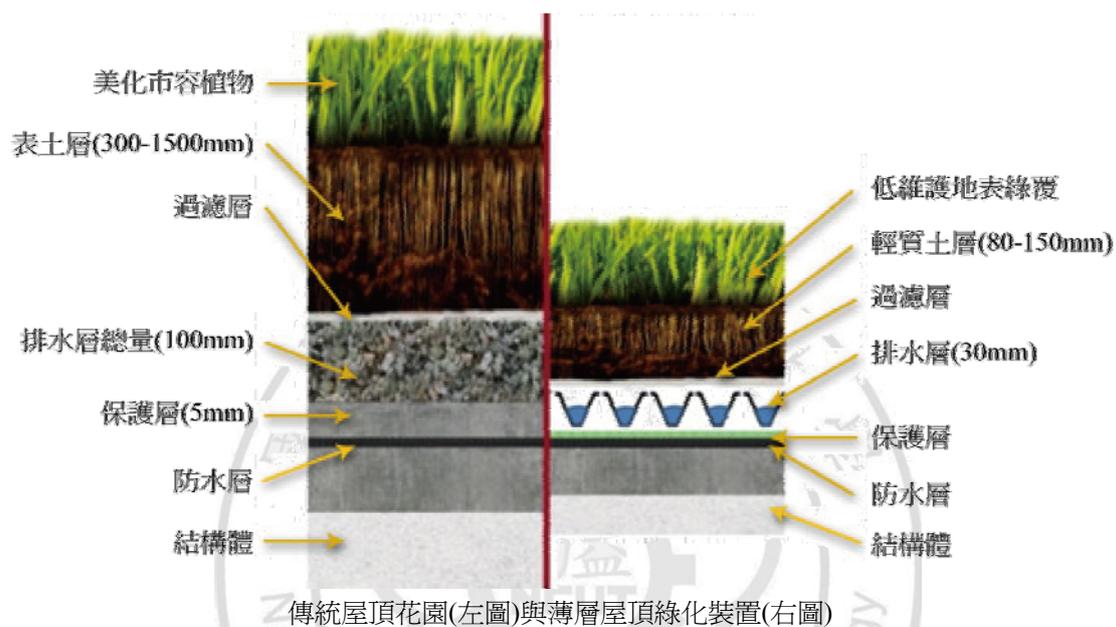


圖 4 傳統屋頂花園與薄層屋頂綠化結構比較圖
(資料來源：改繪自新北市綠能屋頂示範計畫網頁，2012)

表 1 傳統屋頂綠化施工與薄層屋頂綠化施工比較表

結構層	傳統屋頂綠化施工	薄層屋頂綠化施工
排水層	以碎石及配、石礫為主，排水能力速率較差，一般鋪設草皮就須要 8 cm 以上的碎石排水層。塑膠或聚苯乙烯排水模組或多孔墊盤，有各式各樣的商業產品。	大多數不超過 6 cm 厚度，部分設計有蓄水功能。可減少 150-200 kg 重量。
保護層	因碎石排水會破壞其原本防水結構，故須增設一層保護，一般以水泥沙漿鋪設 5-10 cm 為原則。	無須保護層可減少 100-150 kg 重量。
介質層	一般以自然原土為主，採用較厚土層以防止排水能力速率較差所導致的積水現象及穩定性的破壞，增強植株的生長。一般草花須填土 20-30 cm 高。	介質層的土壤調配以輕質、薄層、穩定、環保，於風乾和飽和水狀態下容重分別為 0.8 g/cm ³ 、1.0 g/cm ³ 左右。一般草花僅須 10-15 cm 左右土層，可減少重量 20-30 kg。
阻根防水層	選擇種類較少，須以耐壓性為考量。	防水種類多元，施工操作較為便捷。

(資料來源：新北市綠能屋頂示範計畫網頁，2012)

方智芳(2011^a)在台灣中部地區作生態屋頂減熱效果之研究中，建立新的生態屋頂結構(圖 5)，在結構層的屋頂隔熱磚上增加一層 3 cm 的架高層，其作用在於隔絕生態屋頂直接與屋面接觸，可增加屋頂表層的通風性，減少屋頂長期積水的機率，間接降低屋頂漏水的可能性。架高層上再依序鋪設 PE 防根墊、排保水板、過濾層、介質層及植栽層。

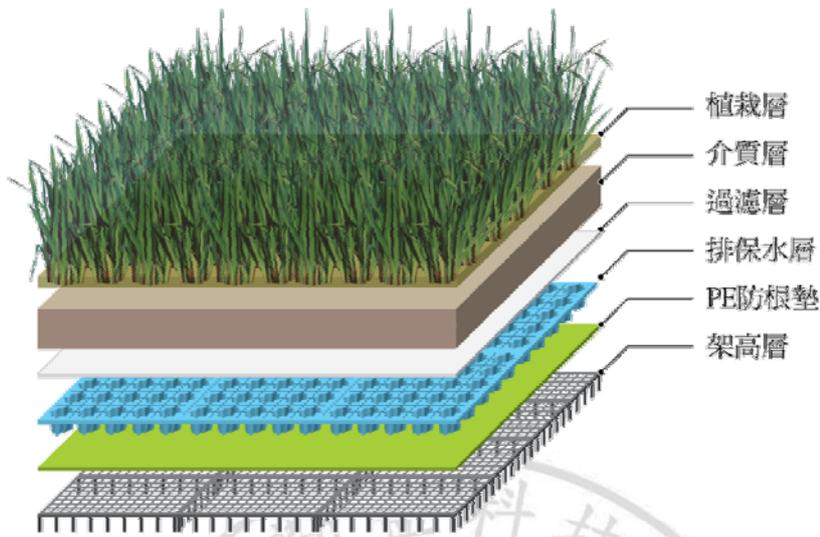


圖 5 生態屋頂結構圖
(資料來源：方智芳，2011^b)

二、屋頂樓板承重限制

薄層屋頂綠化以輕量、簡便且在既有建築物上就能施作為考量，以利廣泛推廣，進而達到都市綠化、改善環境生態等目標。根據中華民國建築技術規則建築構造編：第一章第一節第十七條的內容規範，住宅樓板室載重須 200 kg/m^2 、教室樓板室載重須 250 kg/m^2 ，屋頂露臺之活載重得比室載重減少 50 kg/m^2 ，但供公眾使用人數眾多者不得少於 300 kg/m^2 。也就是說，在台灣一般的住宅的屋頂露臺最少都有 150 kg/m^2 的承載量以上。而依據最先端的綠化技術一書中敘述，由蛭石 (Vermiculite)、真珠石 (Pearlite) 等岩石燒製而成的材料所組成的人工輕量土壤，在土層厚度 20-30 cm 之間的重量的約為 150 kg/m^2 (龜山 章等人, 1995)。學者 Peck 1999 年的屋頂綠化試驗中，5-15 cm 的輕量土壤的重量的約為 $72.6-169.4 \text{ kg/m}^2$ 之間，這些輕量土壤的重量大多符合載重限制。

另外，根據日本財團法人都市綠化技術開發機構(1998)針對兩種人工輕量土壤施工法所種植的植栽類型和最少需要的土壤厚度作一整理(圖 2)，計算出各種組合的載重。其一為利用雨水的無灌溉型(簡易人工輕量土壤施工法)，另一種為設置灌溉設備(薄型人工輕量土壤施工法)的裝置進行比較。前者以填充真珠石作為排水層，整體重量較重且缺乏保水的機能，例如輕量土壤 15 cm、排水層 7 cm，重量將達 147 kg/m²。後者則增加 3 cm 的保水排水嵌板，可減輕重量且儲存較多的水分，例如輕量土壤 15 cm、保水排水嵌板 3 cm，重量僅 123 kg/m²，因此選擇以保水排水嵌板作為排水層的屋頂綠化較能減輕整體結構重量。

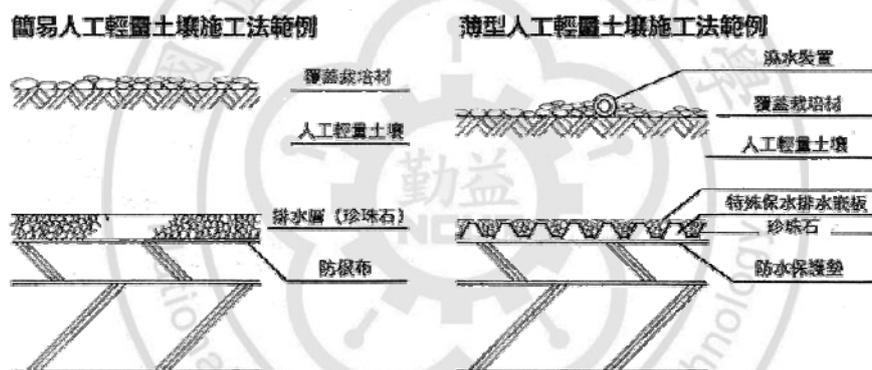


圖 6 簡易/薄型人工輕量土壤施工法範例圖
(資料來源：日本財團法人都市綠化技術開發機構，1998)

三、栽培介質深度相關研究

粗放型屋頂綠化以輕量為目標，介質深度即受限制。依種植植栽類型及其特性，介質深度從 2 cm 至 20 cm 不等。Liesecke(1998)指出當介質深度為 8-10 cm 可種植多肉及草類植物，10-12 cm 可種植多肉、草類及草本植物，12-15 cm 可種植草類及草本植物。Rowe 等人(2006)研究顯示非多肉植物需要更深的介質、更多有

² 人工輕量土壤比重 0.7、排水層含水時比重 0.6 及保水排水嵌板含水時重量 18 kg/m³計算(日本財團法人都市綠化技術開發機構 1998 年)。

機質及澆灌才能使植栽生長良好，因為較深的介質可蓄含水分較多，且土溫較恆定，植物遇夏季乾熱或過冬時較易存活。而 Thuring 等人(2010)認為景天科等多肉植物根系淺可在 10 cm 介質深度生長良好，若增加至 20 cm 雖可涵養更多水分，但這些多餘的水對多肉植物無助益。

在介質深度影響植物生長研究部分，Durhman 等人 (2007)在美國密西根州中西部試驗二十五種植栽與介質深度(2.5 cm、5 cm、7.5 cm)之間的生長狀況，試驗結果顯示在較深的介質中，植栽的存活率及覆蓋度較高。Gettet 和 Rowe (2009)在美國密西根州中西部研究十二種景天科植物在三種介質深度(4 cm、7 cm、10 cm)中的生長狀況，發現大多數植物在 7 cm、10 cm 的介質深度中生長狀況與覆蓋度比在 4 cm 中良好，介質中所能涵養的水分也較多，建議屋頂綠化介質深度至少 7 cm。Thuring 等人(2010)在美國賓夕尼亞州中部研究五種植物在三種介質深度(3 cm、6 cm、12 cm)及三種澆灌控制下，植物生長狀況，得知植物生長受介質種類、深度及乾旱逆境影響，其中景天科植物生長在 6 cm 及 12 cm 介質深度中，其最終生物量比在 3 cm 多。由此可知介質深度較深，植物生長較佳。

四、栽培介質配比相關研究

薄層屋頂綠化因受限於樓板荷重，常使用具有良好排水性、通氣性的輕量介質，但大多輕量介質為無機且比重輕，無法提供植物養分及支撐力。而一般有機土壤雖具有養份且保水性佳，但比重大、通氣性差，因此薄層屋頂綠化之介質常混合輕量介質與土壤，以達兼具輕量、通氣性、排保水性佳、比重適中等功能。

張育森(2008)針對屋頂綠化適用栽培介質選擇作整理(表 2)，說明植物需要養

分、水分及空氣等維持生長，而土壤是植物維持生長的來源之一，但是土壤總體密度大(1.0 g/cm³)，若是在屋頂綠化栽培介質部分均為土壤，則一般的屋面無法承受其重量。因此在屋頂綠化介質的選擇上就必須搭配輕量的介質(總體密度約風乾 0.5 g/cm³飽和水 0.8 g/cm³)。目前有許多輕量介質被開發出來，而這些輕量介質又可分為有機和無機輕量介質。有機的輕量介質包括泥炭土、樹皮、椰子纖維等，這些資材都是由植物所轉化的產物，富含有機質能提供植物養分；無機的輕量介質包括真珠石、蛭石、發泡煉石(矽石)、水陶石等，無機的輕量介質大多是由岩石、黏土等礦物經高溫加熱膨脹而來，因為高溫燃燒產生許多孔隙，這類的介質多具有良好的排水性、通氣性。該研究認為真珠石:蛭石:泥炭土=1:1:1 適用於一般植物及耐旱植物。

表 2 屋頂綠化常用之輕量介質特性表

輕量介質	保水性	排水力	通氣性	保肥力	介質特性
泥炭土	■	□	□	■	pH 值偏低、若質地較細且緊密者，保肥性及通氣性較差。 缺氮、不同種類樹皮 pH 值也不同，如松樹皮為酸性。濕潤後保水性強，通氣性佳，但含可溶性鹽類(鈉)高。 較易腐爛。 易發生白色真菌、蟲卵寄生及酸化問題，且易腐壞。 pH 值中性，炭化後 pH 值 8-10、養份含量不高但耐分解。
樹皮	▲	■	■	▲	
椰子纖維	■	□	■	▲	
水苔	■	□	■	▲	
蛇木	▲	■	■	□	
稻殼	□	■	■	▲	
真珠石	■	■	■	▲	pH 值中性、保肥力較蛭石差、比重小於水會隨水溢流上浮。 pH 值 7-9、富含鎂鉀成分、結構鬆散易崩解通氣性降低。 不易變質、陽離子交換能力高利於吸收養分。 pH8-9、材質輕但不易隨水溢流上浮。 具有鬆弛介質防止介質潮溼作用、。 保水性過強、人造纖維材質不易分解、會隨水溢流上浮。
蛭石	■	▲	■	■	
發泡煉石(矽石)	■	■	■	■	
水陶石	■	■	■	▲	
保麗龍	□	■	■	□	
人造土(Orlon)	■	□	■	▲	

■高、▲中等、□低

(資料來源：整理自張育森，2008)

李衛東和廣志勇(2008)分析國內外薄層屋頂綠化之介質，整理出常見的介質及性狀(表 3)。研究指出，單一種介質不能直接使用，因為其理化性質不能滿足生長植物所需，介質需混和使用。應以土壤為基礎介質，但由於土壤黏性大容重也大，需與輕量介質混合調配。調配方式應按容重、孔隙大小及植栽需求搭配，混和後介質容重應小於天然土壤的容重，但容重過小植物不易固定，理想的容重應在 0.1-0.8 g/cm³。介質之排水及保水性與大小孔隙比有關，大小孔隙比控制在 1:1.5-4 之間或 30%-50%保水孔隙和 15%-20%通氣孔隙較益於植物生長。介質酸鹼值 pH5.5-7.05 之間，接近中性或微酸性為宜。導電率(EC)³不宜過高，一般不超過 3.5 ms/cm。陽離子交換能力(CEC)⁴與介質保肥力有關，建議栽培需肥性高的植物應選擇陽離子交換能力高之介質。

表 3 屋頂綠化常見介質的理化性狀

介質	容重(g/cm ³)	總孔隙度 (%)	大小孔隙比	pH 值	CEC(mmol/kg)	CE(ms/cm)
土壤	1.01-1.70	66.0	0.47	-	-	-
沙	1.49	30.5	29.5	7.2	0*	0.01
爐渣	0.70	54.7	0.64	7.8	41.2	2.23
蛭石	0.13	95.0	0.46	7.5	51.5	0.67
珍珠石	0.16	93.2	1.33	7.4	12.5	0.07
岩棉	0.11	96.0	0.02	5.8-7.0	47.5	0*
草炭	0.21	84.4	0.09	5.8	48.5	1.04
鋸木屑	0.19	78.3	0.79	6.2	-	-
炭化稻殼	0.15	82.5	2.30	6.5	-	-

*表示數值極低，趨近於 0

(資料來源：整理自李衛東、廣志勇，2008)

Rowe 等人(2006)在密西根州研究屋頂綠化介質與肥料對於植物生長的影響。

³可溶性鹽類(EC)：「電導度」(Electrical Conductivity, EC)表示可溶性鹽類存在於介質中的濃度。介質中可溶性鹽類(Soluble Salts)越多，滲透壓越高，作物越難以吸收水分和養分，當濃度超過作物的忍受限度時，即對作物產生毒害，造成根部受損、地上部葉片萎凋、生產緩慢等症狀，此種現象稱為「鹽害」。(陳佳忠，2011)

⁴陽離子交換能力(CEC)：用以量測介質顆粒吸收或釋出陽離子的能力。許多養分都是陽離子。有些介質成份中的表面帶有負極，因此能夠吸引陽離子。(陳佳忠，2011)

試驗兩種景天科植物及六種非多肉植物(菊科植物)在五種介質配比中，植物的生長與存活狀況。研究結果發現，80%的輕量介質(熱膨脹石板：美國高爾夫場等級用沙：密西根州泥炭土：農場作物混合的堆肥=80：12.5：5：2.5)適合多數植物生長。而低肥料配比的介質植物生長較緩慢，但研究指出水分供給比肥料供給更有助於植物生長，因為有機質易腐化，容易將介質中氮、磷等養分經由逕流帶走。因此研究認為介質配比必須是輕量、不易流失且具有適量養分以維持植物生長。另外亦發現相對於多肉植物，六種非多肉植物對於介質深度要求較高，因為多肉植物葉肉質且根系較淺，因此需水較少。

衡靜等人(2009)在中國鄭州市一棟樓高 24m 辦公大樓頂作五種屋頂綠化植物對種植介質的適應性研究。該地屬於大陸性季風氣候，冬季寒冷乾燥、夏季炎熱潮濕。試驗中對兩種栽培介質(介質 1 為泥炭土:真珠石:蛭石:壤土=4:3:2:1 的體積比及介質 2 為玉米穗稈發酵基質:真珠石:蛭石:壤土=4:3:2:1 的體積比)及不同介質深度(介質 1 分別有 10、15、20、25 cm，介質 2 有 15、20、25 cm)，種植五種屋頂綠化植物(八寶景天、鳶尾、地被石竹、萱草、菊花)進行生長狀況調查，測定其存活率、株高、葉綠素含量⁵、淨光合速率等生理指標。試驗結果顯示介質 1 較適宜植物生長。介質厚度低於 15cm 時，五種植物株高低於介質厚度 20、25 cm 之植栽，介質厚度越厚，植物株高越高。

方智芳(2009)研究台灣地區生態屋頂適生植物。首先調配一輕量介質(真珠石:蛭石:泥炭土=1:1:1)，再將輕量介質混合砂質壤土，調配成三種比例(輕量介質:砂質壤土=6:4、8:2、10:0)，介質深度為 5、10、15 cm。研究結果發現兩種配比(輕

⁵葉綠素含量：葉綠素是一切綠色植物光合作用的物質基礎，其含量多寡反映了植物光合作用的強弱。(衡靜等，2009)

量介質：砂質壤土=6:4、8:2)適合多數植物(包含桔梗蘭、射干、小蚌蘭、百慕達草、結縷草、南美蟛蜞菊等)生長，且在 15 cm 介質中生長較佳。

五、灌溉水量及頻率相關研究

國外屋頂綠化灌溉量之研究多以乾旱試驗測試植栽的耐旱程度作為後續灌溉依據。Wolf 和 Lundholm (2008)以三種灌溉方式(分別以每 4、11、24 天灌溉一次)試驗十四種植物(多肉、草本、草類、木本)的生長狀況，結果發現在每 24 天灌溉一次的控制下，兩個月後只有多肉植物存活下來，所有植物中以草類最為耗水。研究指出影響植物耗水總量原因包含植物吸收蒸散、植物遮蓋土壤表面減少蒸散及介質、排保水層或植物根部吸收等因素。

Nagase 和 Dunnett (2010)在英國雪菲爾大學溫室中以三種灌溉方式(分別以每一、二、三週灌溉一次)試驗十二種植物 (草本、景天科植物、草皮)的生長狀況，結果發現一週灌溉一次的植物全數存活，三週不灌溉之植物生存比例下降。其中草本、草皮的存活數會受灌溉影響，但景天科植物僅有一種會受灌溉影響，景天科植物抗旱性明顯優於草本植物和草皮。因此，種植非多肉植物，例如草本、草皮須二週灌溉一次。

Bousselot 等人(2010)在美國科羅拉多州立大學溫室中以三個灌溉控制測試六種植物受馴化後的生物量狀況，結果顯示灌溉水量從第一年生長季 18.7 mm/week 植物均能全數存活，第二年生長季的灌溉水量為 6.4 mm/week 剩四種植物能全數存活。

根據新綠化空間設計指南(二)技術手冊一書指出，屋頂綠化的澆灌和一般植栽地不同的是沒有來自地裡的水分補充，再加上土壤厚度薄，所以水分多半顯得不夠。但是混入人工輕量土壤和土壤改良的改良土壤等，保水量比自然土壤多，保水狀態甚至和一般植栽地差不多。所以必須考慮植栽的種類，使用的土壤性質等，再決定澆灌方法和水量。若在夏季種植草坪的屋頂綠化層上，參考澆灌水量為 5mm/1 至 2 天(日本財團法人都市綠化技術開發機構，1998)。

國內屋頂綠化多為隔熱效應研究，對於灌溉水量及頻率未詳確記載(張簡宏裕，2002；許瑞銘，2006；連祥萍，2009；蘇榮宗，2009)。施凡文(2009)在中部試驗針對不同灌溉水對屋頂綠化植栽生長影響之研究中記錄灌溉頻率為每週 2-3 次，每次水量為 500c.c.，灌溉面積為 50cm×30cm，每次灌溉水量大約為 3mm 降雨量。Lin 和 Lin (2011)在高雄市探討容器式薄層綠化屋頂的各種隔熱效益與表現的試驗中，針對三種不同的灌溉頻率(無澆灌、一週一次、兩週一次)試驗，其結果顯示每兩週灌溉一次的植物，隔熱效果表現較好。而關於屋頂綠化土壤含水率變化等尚未有相關研究，僅能從土壤學研究單位針對果園或其他農作物的灌溉研究中得知，于迺文(1987)在葡萄園土壤水分張力變化試驗中，指出當土壤水分張力為 20 k Pa 時為濕潤狀態，超過 40k Pa 時為乾旱狀態，才需要灌溉。

六、植栽選種相關研究

國外研究部份，Monterusso 等人(2005)在美國密西根州立大學屋頂作景天科及當地多年生自生植物的選種試驗，該試驗設置三組試驗植栽槽，每個植栽槽有三種不同形式的排水板，栽種介質 10 cm 厚，由 60%熱膨脹石板、25%美國高爾夫場等級用沙、5%天然堆肥及 10%當地泥炭土組成。第一個植栽槽種植 18 種當地多年

生自生植物，第二個植栽槽種植7種景天科植物(以種子種植)，第三個植栽槽種植2種已育苗之景天科植物(試驗植物有 *Sedum acre* L., *Sedum album* L., *Sedum kamtschaticum* Fis. & Mey., *Sedum ellacombeanum* Praeger, *Sedum pulchellum* Asnav., *Sedum reflexum* L., *Sedum spurium* Bieb. 'Coccineum', *Sedum middendorffianum* L. 'Diffusum', *Sedum spurium* L. 'Royal Pink', *Agastache foeniculum* J. Clayton ex Gron. (lavender hyssop), *Allium cernuum* L. (nodding wild onion), *Aster laevis* L. (smooth aster), *Coreopsis lanceolata* L. (lanceleaf coreopsis), *Fragaria virginiana* Duchesne (wild strawberry), *Juncus effusus* L. (spikerush), *Koeleria macrantha* Regel (junegrass), *Liatris aspera* Gaertn. ex Schreb. (rough blazingstar), *Monarda fistulosa* L. (bergamot), *Monarda punctata* L. (horsemint), *Opuntia humifosa* Raf. (prickly pear), *Petalostemon purpureum* Rydb. (purple prairie clover), *Potentilla anserina* L. (silver feather), *Rudbeckia hirta* L. (black-eyed Susan), *Schizachyrium scoparium* Nash (little bluestem), *Solidago rigida* L. (stiff goldenrod), *Sporobolus heterolepis* A. Gray (prairie dropseed), *Tradescantia ohiensis* L. (spiderwort).)。監測方式為每月量測其覆蓋度、生長狀況(單株植物長+寬+高/3)及記錄五個等級之生長指數(「0」為死亡、「1」為凋萎、「2」為與剛種植時有些許差異、「3」表示生長緩慢、「4」表示健康且大幅度生長、「5」表示生長得特別旺盛)。試驗結果顯示第一個植栽槽的18種當地自生植物在試驗1年之後有12種植物死亡，存活的植物種類為繖科、菊科及鴨跖草科之植物，第三個植栽槽2種景天科植物在試驗1年後的覆蓋度可達100%，且生長穩定。三種不同形式排水板在試驗一年內有少許植物生長狀況有顯著差異，但在試驗一年後所有植物並無顯著差異。

Durhman 等人(2007)在美國密西根州研究介質深度與25種植物的生長狀況。

介質由40%熱膨脹石板、40%美國高爾夫場等級用沙、10%當地泥炭土、5%石灰、3.33%農場作物混合的廢料及1.67%動物堆肥以體積比組成，設定三種介質深度(2.5、5、7.5 cm)。種植植栽均為景天科植物(石蓮花、費菜、紅景天等)，共有25種(試驗植物有*Graptopetalum paraguayense* subsp. Rose⁶, *Phedimus spurious* Raf. ‘Leningrad White’, *Rhodiola pachyclada* L., *R. trollii* L., *Sedum acre* L., *S. album* L. ‘Bella d’Inverno’, *S. clavatum* C., *S. confusum* Hemsley, *S. dasyphyllum* L. ‘Burnati’, *S. dasyphyllum* L. ‘Lilac Mound’, *S. diffusum* W., *S. hispanicum* L., *S. kamtschaticum* Fisch., *S. mexicanum* Britt., *S. middendorffianum* L., *S. moranense* Kunth, *S. pachyphyllum* Clausen, *S. reflexum* L., *S. sediforme* J., *S. ‘Rockery Challenger’* H., *S. ‘Spiral Staircase’* H., *S. spurium* Bieb. ‘Summer Glory’, *S. surculosum* var. *luteum* Cos., *S. · luteoviride* C., and *S. · rubrontinctum* C.)。試驗記錄植栽之存活數、覆蓋度等。覆蓋度計算係以照片記錄，再以影像分析軟體作影像分析得知。試驗結果顯示，植物生長在5、7.5 cm厚介質中比在2.5 cm厚介質中存活率較高，只有兩種景天科植物可100%在三種介質深度中生長，47%植物在較深的介質中生長較好。

李雁冰(2009)在中國福州市以八種植物與九種配比栽種介質作植栽選種及其耐熱性評估。試驗植栽分為兩類，香花植物(大葉梔子 *Gardenia jasminoides*、小葉梔子 *Gardenia jasminoides*、鴛鴦茉莉 *Brunfelsia acuminata*、九里香 *Murraya paniculata*)及景天科植物(佛甲草 *Sedum lineare*⁷、垂盆草 *Sedum sarmentosm*、紅景天 *Rhodiola rosea*、東南景天 *Sedum alfredii*⁸)，試驗介質由泥炭土、黃心土、蛭石

⁶ *Graptopetalum paraguayense* subsp. Rose 應為 *Graptopetalum paraguayense* (N. E. Br.) E. Walther subsp. Rose

⁷佛甲草 *Sedum lineare* 應為 *Sedum lineare* Thunb

⁸東南景天 *Sedum alfredii* 應為 *Sedum alfredii* Itance

以 1:0:0、1:1:1、1:2:2、2:0:1 等九種組合而成。觀測植物生長狀況則以電導率、葉綠素含量、丙二醛含量、脯氨酸含量及相對含水量測值判定植栽生長優劣及耐熱性。試驗結果顯示，介質配比為泥炭土:黃心土:蛭石=2:2:0 對於佛甲草、垂盆草、紅景天及九里香之生長有顯著影響。介質配比為 3:2:1 對於東南景天、大葉梔子、小葉梔子有顯著影響。鴛鴦茉莉則在 3:1:0 的介質配比中有顯著影響。以 8 種植栽之電導率、葉綠素含量等測值綜合分析結果顯示，紅景天、佛甲草及垂盆草耐熱性較強，其次是東南景天，而鴛鴦茉莉及大葉梔子的耐熱性較弱。

國內研究部份，台灣台北市錫瑠環境綠化基金會陳坤燦(2008)在台北多處試驗場種植結果顯示，多肉植物是使用最多的薄層式綠屋頂植物材料，其中以景天科景天屬 *Sedum spp.* 使用最多，景天屬植物具有植株低矮、葉片緻密的型態特徵。葉片多肉化，而具有一定的耐旱能力。各種類對溫度、溼度的適應性差異大，部份種類冬季植株縮小休眠，亦有種類夏季高溫期生長衰弱。因此應用時需注意不同種類的生長特性，如溫帶地區使用的種類側重耐寒性強，亞熱帶季風地區則需使用耐暑性強的種類。該研究初步觀察台北市應用的種類，以松葉景天 *Sedum mexicanum*⁹、垂盆草 *Sedum sarmentosum*、圓葉景天 *Sedum makinoi* 等適應性較佳，斑葉佛甲草 *Sedum lineare var. variegatum*¹⁰、萬年草 *Sedum pallidum* 等種類次之。景天科中除景天屬之外，落地生根屬 *Bryophyllum spp.*¹¹ 有許多種類亦有很強的耐旱與不定芽自播繁殖能力，如不死鳥 *Bryophyllum cv. 'Houghton's Hybrid'*、錦蝶 *Bryophyllum tubiflorum*¹²、綴弁慶 *Bryophyllum daigremontianum*¹³、寶子草

⁹松葉景天 *Sedum mexicanum* 應為 *Sedum mexicanum* Britl

¹⁰斑葉佛甲草 *Sedum lineare var. variegatum* 應寫為 *Sedum lineare* 'Variegatum'

¹¹落地生根屬 *Bryophyllum spp.* 應為 *Kalanchoe spp.*

¹²錦蝶 *Bryophyllum tubiflorum* 應為 *Kalanchoe tubiflora*

¹³綴弁慶 *Bryophyllum daigremontianum* 應為 *Kalanchoe daigremontiana*

*Bryophyllum crenatodaigremontianum*¹⁴等，但應用時需注意植株散播的問題。其餘多肉植物還有番杏科的松葉菊 *Lampranthus spectabilis*、彩虹菊 *Dorotheanthus bellidiformis* 等，與馬齒莧科的大花松葉牡丹 *Portulaca grandiflora* cv.、馬齒牡丹 *Portulaca oleracea*、小松葉牡丹 *Portulaca gilliesii* 等種類亦適合種植。草坪類植物中，低矮、具匍匐蔓延性與耐旱性的草種，亦可作為大面積的薄層屋頂綠化植物材料，如有地下莖的韓國草、百慕達草(狗牙根)或地上走莖的假儉草等耐旱性較強，但需注意日後維管修剪、病蟲害防治與施肥，甚至需設置灌溉系統。地被植物經觀察試驗後，有翠玲瓏 *Callisia elegans*、團花蓼 *Polygonum capitatum*、斑葉到手香 *Plectranthus* cv.、短葉虎尾蘭 *Sansevieria trifasciata* cv.、銀紋沿階草 *Ophiopogon intermedius* cv. *Argenteo-marginatus*、蔓花生 *Arachis pinti* (*Arachis duranensis*)、小蚌蘭 *Rhoeo spathaceo* cv. *Compacta*、越橘葉蔓榕 *Ficus vaccinioides*、矮筋骨草 *Ajuga pygmaea*、斑葉絡石 *Trachelospermum asiaticum* cv. *Tricolor* 等，這些植物依葉片厚薄、地下部發達與否而具有不等的耐旱能力，且種植後維護管理的頻度亦會影響植物生長差異。

台灣原生植物保育協會余有終(2008)以耐陽光、耐旱、耐風及耐貧瘠等為屋頂綠化植栽的篩選條件，建議 49 種植物，其中包括越橘葉蔓榕、細梗絡石、單花蟛蜞菊、海馬齒、蛇莓、台灣蒲公英、馬蹄金、黃花酢醬草、蜘蛛抱蛋、沿階草、蜘蛛百合、倒地蜈蚣、薜荔、虎葛、地錦、仙草、蔓荊、竹節草、百慕達草(狗牙根)、白茅、白鳳菜、土丁桂、早田氏爵床、火炭母草、台灣景天、金花石蒜、台灣馬蘭、普刺特草、小葉黃鱗藤、雷公根、小艾、馬鞍藤、濱艾、鼠麴草、兔兒草、台灣百合、蝴蝶翼、賽山藍、海馬齒、竹節草、鐵掃帚、金錢薄荷、金腰箭

¹⁴寶子草 *Bryophyllum crenatodaigremontianum* 應為 *Kalanchoe crenatodaigremontianum*

舅、黃邊蝴蝶之舞、射干及穗花木藍等，為薄層屋頂綠化建議可選用之植物¹⁵。

方智芳(2009)在台中勤益科技大學屋頂作生態屋頂適生植物之研究，探討生態屋頂介質比例及介質深度對植物生長勢的影響。植栽選種以宿根性草本、草皮、木本及蔓性等耐旱性植物為材料，選擇 11 種植栽種類(百慕達草、結縷草、鵝掌藤、蔓榕、小蚌蘭、馬蘭、南美蟛蜞菊、萱草、麥門冬、射干及桔梗蘭)作為試驗材料。研究結果得知適合生長的植物包含桔梗蘭、射干、小蚌蘭、百慕達草、結縷草、南美蟛蜞菊等。

廖朝軒(2010)作屋頂綠化建構技術之研究。研究從蒐集相關 11 件案例與 30 幾種產品、16 種屋頂型式、16 種綠化類型與 16 種維護管理方式，建立屋頂載重簡易評估表與建構屋頂試驗模型，並結合屋頂雨水貯集再利用系統，研發適於國內本土氣候特性並兼具輕量化之屋頂綠化模組化技術。該研究根據國內已建置之屋頂綠化案例統整出適合於台灣屋頂應用的植栽，將依植栽型態分為喬木、灌木、地被與多肉植物等四類。喬木類有竹柏、羅漢松、榔榆、楓香及青楓。灌木類有金平氏冬青、石斑木、山黃梔、珊瑚樹、野牡丹、金露花、銀姬小蠟、繁星花、六月雪。地被類有越橘葉蔓榕、薜荔、馬蘭、穗花木藍、台灣蒲公英、垂盆草、萬年青、蔓花生、鑲邊到手香。多肉植物有松葉景天、圓葉景天、白佛甲、長壽花、蘆薈及花蔓草等耐高溫、耐旱植物。但若針對薄層屋頂綠化作植栽選種，因介質深度有限，應種植較低矮的灌木、地被及多肉植物為主。

劉思吟(2011)在台中中興大學屋頂作薄層屋頂綠化適用植栽研究。探討薄層

¹⁵金腰箭舅及黃邊蝴蝶之舞為非原生植物，射干及穗花木藍為馴化種植物。

屋頂綠化適用植栽之生理特性、生存耐力及環境熱調節效益，進而篩選出適用植栽。試驗結果顯示，生長良好的植栽為景天科的朱蓮、白蝶之光、千兔耳、黃覆輪蝴蝶之舞、銘月、唐印、東美人；大戟科的銀角珊瑚；馬齒莧科的樹馬齒莧及雅樂之舞等 10 種。而薄層屋頂綠化適用植栽係透過葉片肉質、表面具角質層、具黏性物質、具毛或刺、景天酸代謝(CAM)等生理機制來抵抗乾旱逆境。

Lin 和 Lin (2011)在高雄市進行容器式薄層綠化屋頂的各種隔熱效益與表現的研究，使用四種不同類型的耐旱植物，包含芙蓉菊、金鑽變葉木、黃邊虎尾蘭、小蚌蘭。試驗結果顯示，生長最良好的植物有黃邊虎尾蘭及小蚌蘭。

方智芳(2011^b)在中部地區作生態屋頂減熱效果之研究，選擇四類共 19 種試驗植物，草皮類包含百慕達草、結縷草、沿階草、銀紋沿階草。非多肉性地被包含武竹、食用鳳梨、日日春、蔓荊、射干、斑葉桔梗蘭、馬鞍藤、萬年麻、落花生。多肉類植物包含蘆薈、洋吊鐘、松葉牡丹；球根類植物包含蜘蛛百合、孤挺花、蜘蛛百合。研究結果顯示，比較裸露土壤日間底部溫度，由高至低依序為裸露土壤、蜘蛛百合、松葉牡丹、結縷草及蔓荊；夜間底部溫度由高至低依序為結縷草、蔓荊、蜘蛛百合、松葉牡丹及裸露土壤。研究結果建議生態屋頂可選用枝葉茂密、冠幅大、高大的植栽，可產生較高的隔熱效益。

方智芳(2012)在台灣中部地區進行生態屋頂的適生植物研究，探討低莖(株高 ≤ 30 cm)、高莖(株高 > 30 cm)、多肉及球莖等四類植物(共計 18 種)在 3 種排保水板中的生長指數。結果顯示在低莖植物中，銀紋沿階草的生長指數最高，其次為結縷草、沿階草及百慕達草。高莖植物中，生長指數由高至低依序為斑葉桔梗

蘭、武竹、食用鳳梨、黃紋萬年麻及射干。多肉植物生長指數以洋吊鐘最高，其次為蘆薈及松葉牡丹。球莖植物中，以文殊蘭的生長指數最高，其次依序為蜘蛛百合及孤挺花。排保水板種類對於多數植物的生長指數不具影響性，但結縷草較適合生長在蓄水量較高的南海及寶銳排保水板。斑葉桔梗蘭最適合生長在蓄水量最高的寶銳排保水板。黃紋萬年麻及松葉牡丹最適合生長在蓄水量最低的方智排保水板。整體而言植物種類對於生長指數的影響性高於排保水板。

七、植栽生長狀況評估方法

綜合國外學者植物測量方法，可依植物生長形態差異，使用不同量測方法辨別植物生長狀況，常見之測量方法有三種。

第一種為計算植物試驗初始種植數量與最終存活數量，作存活率的計算 (Durhman *et al.*, 2007; Nagase and Dunnett, 2010; Boussetot *et al.*, 2010; Boussetot *et al.*, 2011)，Wolf 和 Lundholm (2008)及 Thuring 等人(2010)的試驗則以植物最終乾重計算生物量的多寡。

第二種為測量植物生長茂密狀態，以覆蓋度檢視植物茂密程度，而覆蓋度計算係由相機拍照後，經影像處理軟體辨析其綠覆比例得知植物正投影覆蓋程度 (Durhman *et al.*, 2007; Sendo *et al.*, 2010; Boussetot *et al.*, 2010)，另外 Monterusso 等人(2005)、Rowe 等人(2006)及 Nagase 和 Dunnett(2010)則以植物生長的茂盛程度分級評分，作視覺評估。覆蓋度除了電腦影像處理分析及視覺評估外，Boussetot 等人(2010)的研究以葉片面積計算單位土地上植物總葉片面積，得出該植物葉面積指數，也有學者將植物平面葉面積視為圓形，以植物長寬長度平均為直徑，概

算出葉面積。

第三種為測量植物外觀大小，Nagase 和 Dunnett (2010)以生長指數檢視植物長寬高，生長指數計算係由量測植物長寬高總和，另外，Monterusso 等人(2005)及 Rowe 等人(2006)以長寬高總和後取平均值為生長指數，亦可表示植物外型大小。

小結：

從文獻中得知，薄層屋頂綠化主要的結構從下而上需有保護層(防水、防根)、排保水層、過濾層、介質層、植栽層。其中，使用的介質深度以 20 cm 以下為原則，種植不同植物種類可調整其深度，像是景天科等多肉植物根系較淺，不需要太深的介質，而草類、草本植物需水量較多、較不耐乾旱，需要較深的介質涵養水分及維持介質溫度。許瑞銘(2006)及蘇榮宗(2009)屋頂綠化介質深度之研究發現當覆土深度在 15-20 cm 以上時，土壤層下溫度可維持在一定範圍內。因此可知介質層深度設定在 15-20 cm 即能發揮其環境效益。

薄層屋頂綠化因受限於樓板荷重問題，使用介質以輕量化為原則，但大多輕量介質為無機、比重輕，無法提供植物養分及支撐植物，但具有良好排水性、通氣性。而一般有機土壤雖具有養份且保水性佳，但比重大、通氣性差。因此，用於薄層屋頂綠化之介質需兼具輕量、通氣性、排保水性佳、比重適中等特性。由介質配比試驗得知，一般土壤容重大，需混和輕量介質，國外多以當地量產的熱膨脹石板(heat expanded slate)為主，拌合泥炭土、堆肥等有機質。目前常用於薄層屋頂綠化介質為真珠石、蛭石，真珠石質輕、排水性佳，蛭石質輕、保水性佳，

這兩種介質容重小、孔隙大、酸鹼為中性至鹼性之間、取得容易，但屬無機質，需調和一些有機質，如泥炭土、椰纖等，而種植不同植物種類介質配比亦不同(表4)。國外多種植多肉植物的介質中，沙或沙質土含量較高。國內學者張育森(2008)指出，真珠石:蛭石:泥炭土=1:1:1 適用於一般植物及耐旱植物。方智芳(2009; 2011^b)研究認為輕量介質(真珠石:蛭石:泥炭土=1:1:1):土壤=6:4 或 8:2 為適合多數植物生長。由介質配比研究得知，適於一般植栽輕量介質配比为真珠石:蛭石:泥炭土=1:1:1，以混合 20%-40%之間土壤為多數植物生長適應範圍。故本研究擬採用方智芳(2009; 2011^b)的建議，以(真珠石:蛭石:泥炭土=1:1:1):土壤=6:4 為試驗介質。

在澆灌原則上，根據 Wolf 和 Lundholm (2008)於溫帶地區的試驗控制，平均以一週澆灌一次為潮濕控制(wet)、二週澆灌一次為中等濕潤控制(moderate)、三週澆灌一次為乾旱控制(dry)。至試驗結束時僅多肉植物能於乾旱控制中存活最後。然而國外氣候條件與台灣不同，台灣在屋頂綠化澆灌原則尚未有相關研究，僅能從有限的文獻中得知每次澆灌量大約 3 mm 降雨量(施凡文，2009)，而土壤水分張力變化值達 40k Pa 時需要澆灌(于迺文，1987)。故本研究擬以土壤水分張力試驗找出適合灌溉的水量及頻率。

在植物選種部分，植栽生長良好與否為薄層屋頂綠化成功關鍵，國外寒帶地區因年雨量較少，根據 Durhman 等人(2007)、Rowe 等人(2006)及 Monterusso 等人(2005)之試驗證實多肉植物淺根、需水少、覆蓋度高為薄層屋頂綠化適生植物，因此當地多選用耐乾旱的多肉植物為主，其中又以景天科植物具較高覆蓋度為首選。而草本植物深根、需水多、蒸散快，沒有澆灌則無法長期生長於屋頂環境。但台灣位於亞熱帶氣候區高溫多雨，高溫使介質水份蒸散快，多雨使植物易有過

溼而腐根現象(陳坤燦, 2008)。台灣屋頂綠化適生植物的研究中, 台北市錫瑠環境綠化基金會陳坤燦(2008)在台灣北部試驗結果顯示, 多肉植物冬季植株縮小休眠、夏季生長衰弱; 草坪類植物具低矮、具匍匐蔓延性與耐旱性; 地被植物依葉片厚薄、地下莖發達與否具有不等耐旱力。台灣原生植物保育協會余有終(2009)建議以耐陽光、耐旱、耐風及耐貧瘠篩選植物。根據方智芳(2009)中部地區試驗結果顯示, 以桔梗蘭、射干、小蚌蘭、百慕達草、結縷草及南美蟛蜞菊等為生長良好植物。根據上述研究結果得知, 台灣地區薄層屋頂綠化中, 多肉植物可能不適應高溫多雨氣候, 以耐旱性較佳的草坪或草本、葉片厚且地下莖發達之地被植物為優勢種(表 5)。

在植物評估方法部分, 植物存活率數據多以百分比值表示, 該植物存活率越高表示是適合種植。覆蓋度數據亦是以百分比值表示, 但覆蓋度數據受栽種土地面積影響, 同種植物及同樣時間在單位面積上所栽種的密度不同, 覆蓋度即有差異, 德國的屋頂綠化發展原則、指南與規範要求屋頂綠化的植栽至少要能覆蓋 60% 的面積(FLL, 1995), 其中有些學者以同類型植物(景天科)作評估(Durhman *et al.*, 2007), 有學者以不同種類植物一起作評估(Sendo *et al.*, 2010; Bousselot *et al.*, 2010)。生長指數數據以長度單位表示, 在計算方式中取長寬高總和值或長寬高平均值, 兩者間皆維持三倍的關係, 選擇任一種計算方式並不會造成差異, 而部分研究是以不同種類植物一起作生長指數的評估(Nagase and Dunnett, 2010; Monterusso *et al.*, 2005; Rowe *et al.*, 2006)。

表 4 國內外屋頂綠化研究之介質深度與材料整理表

研究者	介質深度	介質材料
Rowe <i>et al.</i> , 2006	10 cm	熱膨脹石板、美國高爾夫場等級用沙、密西根州泥炭土、農場作物混合的堆肥
Durhman <i>et al.</i> , 2007	2.5cm、5cm、7.5 cm	熱膨脹石板、粗沙、泥炭土、石灰、植物堆肥、動物糞便堆肥
李衛東、廣志勇，2008		土壤、蛭石、真珠石、泥炭土、沸石
張育森，2008		泥炭土、樹皮、椰子纖維、真珠石、蛭石、發泡煉石(矽石)、水陶石
Gettet and Rowe,2009	4cm、7cm、10 cm	沙、淤泥、黏土
衡靜，2009	10、15、20、25 cm	壤土、蛭石、真珠石、泥炭土、玉米穗稈發酵基質
Thuring <i>et al.</i> , 2010	3cm、6cm、12 cm	熱膨脹石板、熱膨脹黏土
Fang, 2010	5cm、10cm、15 cm	砂質壤土、蛭石、真珠石、泥炭土
方智芳，2011 ^a	5cm、10cm、15 cm	砂質壤土、蛭石、真珠石、泥炭土
方智芳，2011 ^b	15 cm	砂質壤土、蛭石、真珠石、泥炭土
Lin and Lin, 2011	20 cm	沙、碳渣、蛭石、泥炭土、燒黏土、燒結污泥、稻殼

(資料來源：本研究整理)

表 5 國內外屋頂綠化研究之植栽選擇整理表

研究者	植栽選種
Monterusso et al., 2005	當地自生植物(蔥科、菊科及鴨跖草科)、景天科植物
Durhman et al., 2007	景天科植物(石蓮花、費菜、紅景天等)
陳坤燦, 2008	多肉植物: 松葉景天、垂盆草、圓葉景天、斑葉佛甲草、萬年草、松葉菊、彩虹菊、大花松葉牡丹、馬齒牡丹、小松葉牡丹; 草坪: 韓國草、百慕達草、假儉草; 地被植物: 翠玲瓏、團花蓼、斑葉到手香、短葉虎尾蘭、銀紋沿階草、蔓花生、小蚌蘭、越橘葉蔓榕、矮筋骨草、斑葉絡石
李雁冰, 2009	香花植物(大葉梔子、小葉梔子、鴛鴦茉莉、九里香)及景天科植物(佛甲草、垂盆草、紅景天、東南景天)
余有終, 2009	越橘葉蔓榕、細梗絡石、單花蟛蜞菊、海馬齒、蛇莓、台灣蒲公英、馬蹄金、黃花酢醬草、蜘蛛抱蛋、沿階草、蜘蛛百合、倒地蜈蚣、薜荔、虎葛、地錦、仙草、蔓荊、竹節草、百慕達草(狗牙根)、白茅、白鳳菜、土丁桂、早田氏爵床、火炭母草、台灣景天、金花石蒜、台灣馬蘭、普刺特草、小葉黃鱗藤、雷公根、小艾、馬鞍藤、濱艾、鼠麴草、兔兒草、台灣百合、射干、蝴蝶翼、賽山藍、海馬齒、金腰箭舅、竹節草、黃邊蝴蝶之舞、鐵掃帚、金錢薄荷、穗花木藍
方智芳, 2009	百慕達草、結縷草、鵝掌藤、蔓榕、小蚌蘭、馬蘭、南美蟛蜞菊、萱草、麥門冬、射干及桔梗蘭
廖朝軒, 2010	喬木類: 竹柏、羅漢松、榔榆、楓香、青楓; 灌木類: 金平氏冬青、石斑木、山黃梔、珊瑚樹、野牡丹、金露花、銀姬小蠟、繁星花、六月雪; 地被類: 越橘葉蔓榕、薜荔、馬蘭、穗花木藍、台灣蒲公英、垂盆草、萬年青、蔓花生、鑲邊到手香、花蔓草; 多肉植物: 松葉景天、圓葉景天、白佛甲、長壽花、蘆薈
劉思吟, 2011	景天科: 朱蓮、白蝶之光、千兔耳、黃覆輪蝴蝶之舞、銘月、唐印、東美人; 大戟科: 銀角珊瑚; 馬齒莧科: 樹馬齒莧及雅樂之舞
Lin and Lin, 2011	芙蓉菊、金鑽變葉木、黃邊虎尾蘭、小蚌蘭
方智芳, 2011 ^a	小蚌蘭、結縷草、鵝掌藤、射干
方智芳, 2011 ^b	草皮類: 百慕達草、結縷草、沿階草、銀紋沿階草; 非多肉性地被: 武竹、食用鳳梨、日日春、蔓荊、射干、斑葉桔梗蘭、馬鞍藤、萬年麻、落花生; 多肉类植物: 蘆薈、洋吊鐘、松葉牡丹; 球根類植物: 蜘蛛百合、孤挺花、蜘蛛百合
方智芳, 2012	結縷草、百慕達草、沿階草、銀紋沿階草、馬鞍藤、食用鳳梨、武竹、黃

研究者	植栽選種
	紋萬年麻、斑葉桔梗蘭、射干、長春花、蔓荊、松葉牡丹、蘆薈、洋吊鐘、文殊蘭、孤挺花、蜘蛛百合

(資料來源：本研究整理)

第五節 屋頂綠化環境效益

人體的皮膚具有調節體溫、保水的功能，而綠地就像是大地皮膚，同樣具有調節微氣候的機能。屋頂綠化猶如修護都市中受傷的皮膚，能緩和都市熱島效應(Wong *et al.*, 2003; Hien and Jusuf, 2008; 日本財團法人都市綠化技術開發機構, 1998^a; 黃國倉, 2011)、減少建築耗能(許瑞銘, 2006; 連祥萍, 2009; 蘇榮宗, 2009; 方智芳, 2011^a)、減緩雨水逕流產生(日本財團法人都市綠化技術開發機構, 1998^a; 石婉瑜, 2004; Mentens *et al.*, 2006; 施凡文, 2009; Voyde *et al.*, 2010)、淨化空氣、提供生物棲地、豐富生物多樣性等功能。

一、緩和都市熱島效應

由於石材、瀝青、鋼筋混凝土等構造物的熱容量大，在都市中形成蓄熱體，這些蓄熱體的熱量不易消散，造成都市熱島效應。而綠地、植栽能透過反射太陽輻射、蒸散作用等生理機制改善都市氣溫、溼度等微氣候，進而減輕都市熱島效應。根據日本財團法人都市綠化技術開發機構 1998 年研究指出，若綠覆蓋的降溫效果是 2.2 °C/10%，如果東京都的所有屋頂面積 50% 做綠化處理的話，最高氣溫可降低 0.84 °C 左右。在台灣研究的部分，黃國倉(2011)根據成功大學建築研究所的實測結果得知，台灣大都會區中心和郊區的夜間空氣溫度差高達 3 至 4 °C，導致夏季時都市空調耗能的增加。其研究指出，在屋頂綠化上方約 30 cm 處的夜間

空氣溫度，比裸露的水泥屋頂上方平均低約 2 °C。然而在白天時反而高約攝氏 1.5 °C，但是就表面溫度而言，綠化屋頂的表面溫度比一般平板屋頂最大可低約攝氏 19 °C。

二、減少建築耗能

許瑞銘(2006)在台中霧峰朝陽科技大學屋頂以介質深度 15 cm 的土壤並種植四種(羅漢松、馬纓丹、變葉木、台北草、桂花)不同綠覆型式植栽，探討植栽綠化對於裸露混凝土平屋頂熱性能之影響。試驗結果發現，有種植植栽的屋面可降低裸露混凝土平屋頂表面溫度 9.4-11.5 °C，以桂花植栽層隔熱效果最好。可降低裸露混凝土平屋頂上方 30 cm 周圍空氣氣溫 1.3-1.8 °C，以台北草效果最好。可降低平屋頂下方室內空氣溫度，以台北草效果最好。

連祥萍(2009)在台中中興大學屋頂以十七種植栽(鵝鑾鼻燈籠草、松葉景天、鋪地錦竹草等)及三種介質深度(1、3、5 cm)進行熱效應研究。試驗結果得知，介質深度越深，傳熱越慢。

蘇榮宗(2009)在高雄大學屋頂以三種介質深度(5、10、15 及 20 cm)及探討植草覆土組和鋪碎石覆土組熱效應研究。試驗結果發現，屋頂覆土層具有隔熱功效，當裸露土壤覆土深度超過 20 cm 之後土壤溫度可維持在一定的範圍內。若在覆土層上種植草皮，日射熱對覆土層土壤溫度的影響範圍可縮減在 10-15 cm 之內，在覆土 20 cm 處開始土壤溫度幾乎是相同的。若在覆土層上鋪小碎石材料，日射熱對覆土層土壤溫度影響的範圍減少至 5-10 cm，其中以海石的熱吸收能力較佳，但當覆土超過 15 cm 開始土壤溫度幾乎是相同的。

方智芳(2011^a) 在台中勤益科技大學屋頂以介質深度(5、10 及 15 cm)作薄層屋頂綠化介質及植栽之熱效益研究，研究結果顯示，介質深度越淺，植栽箱底日平均溫差越大，且溫度延遲時間越短，反之介質深度越深，日平均溫差越小，而溫度延遲時間越長。因此建議薄層屋頂綠化可鋪設 15 cm 深的介質、種植高度較高、覆蓋度較大的植栽，可達到較佳的減熱效應，緩和頂層的室內溫度，節能的目的。

三、減緩雨水逕流產生

國外的研究部分，根據日本財團法人都市綠化技術開發機構(1998)研究指出，特殊空間綠化具有延遲雨水開始流失的效果，可以得到滯洪(retarding)效果，研究中假設東京都 23 區內所有陸地上的屋頂面積(41,400,000 m²)有 20%為土壤厚度 12 cm 的草皮綠化(保水量為 20kg/m³)，可蓄積 16 萬噸的降雨量。若土壤換為 30 cm 的真珠石(保水量為 60 kg/m³)，則可蓄積 49 萬噸的降雨量。

Mentens 等人(2006)在比利時 Brussels 地區評估屋頂綠化減緩逕流的研究。結果得知，傳統屋頂年逕流量為 91%，而綠化屋頂則為 15%。從降雨量評估各種不同形式的屋頂的表面逕流，屋頂綠化逕流的關係由底層的厚度所決定。假設 Brussels 地區有 10%的建築有綠化屋頂且介質層只有 100 mm，可減少該地區 2.7%的雨水逕流。另外，Voyde 等人(2010)在紐西蘭奧克蘭的研究指出，研究當年有 1093 mm 降雨量中，有 66%雨水可被屋頂綠化裝置保留，只有 367 mm 逕流產生。

國內研究部分，石婉瑜(2004)在台北台灣大學屋頂作簡易綠化屋頂暴雨管理效能之評估。結果顯示，簡易綠化屋頂可以延緩逕流產生約 20-25 分鐘，降低 10.3%-34.7%以上的尖峰逕流，並可儲存 40000 ml/ m²-50000 ml/ m²的暴雨量。另

外根據台北市的現行法規與屋頂現況，推估出台北市現階段適合進行簡易綠化的為商業區屋頂，面積約為 439 公頃。即當台北市面臨 5 年頻率之暴雨時，透過商業區屋頂的簡易綠化約可減少 13% 的地表逕流。

Fang (2010)對於處於亞熱地氣候的台灣研究中指出，當降雨量 10mm(小雨)時，可以儲存 93-97%的雨量，當降雨量 100 mm(大雨)時，僅能儲存 13-18%的雨量，雨水儲存率和雨量成反比。而不同介質深度(5cm、10cm、15 cm)的儲水率在 2-10%之間，雨水儲存率和介質深度成正比。對於屋頂綠化的儲水量中，介質約佔 60-90%，植物約佔 10-40%。在亞熱地氣候的屋頂綠化整體對於暴雨逕流儲存率約 20-30%。

小結：

薄層屋頂綠化主要機能在於建築節能，削減太陽熱能進入室內，穩定室溫節約空調用電。另一方面，薄層屋頂綠化透過介質層、保水層涵養水份及植栽蒸散作用，可減緩初期雨水逕流等滯洪效益。薄層屋頂綠化亦可豐富人工地盤之生態環境，營造生物棲息空間。而無論新舊建築物樓板都有其荷重限制，薄層屋頂綠化主要以薄層、輕量介質組成，以符合樓板荷重及達到最佳環境效益為目的。

綜觀國外屋頂綠化研究成果，已有原則性的脈絡可循，寒帶地區雨量少、氣溫及日射量亦較低，因此選擇耐旱性高、覆蓋度高且淺根的多肉植物種植。且多數研究介質深度不超過 10 cm 為上限。介質材料的選擇也有共同的研究成果，多以當地量產的熱膨脹頁岩(heat expanded shale)、熱膨脹黏土(heat expanded clay)及沙等輕量介質為主。反觀台灣地區的研究，無論是在介質深度、介質配比、植栽

選擇上都未有一致性的研究結果，這些個別的研究僅可視為個案參考，難以整合屬於在地的論證或概念。因此，台灣地區對於薄層屋頂綠化的推廣上實有難處，本研究旨於建立台灣地區薄層屋頂綠化之基礎資料，期望後續研究者據此基礎向下延伸研究。





第三章 材料與方法

第一節 試驗地點與試驗裝置

一、試驗地點及時間

台灣國土為南北長、東西短的狹長形島國，南北縱向長約 395 公里、東西橫向寬約 144 公里，因此試驗地點選址若以縱向佈點較橫向佈點可涵蓋的範圍較大。本研究試驗地點以台中為起點，往南北向等距設定試驗地點；另外，若以台灣地區人口密度及建築密度劃分，台灣的西半部的北、中、南三地區為居住人口較稠密及建築也較密集的地區，建置薄層屋頂綠化的環境效益較高。因此，本研究在選址分析上，將地理區位及三個高使用密集度之地區列入選址考量。

據此，本研究結合地理區位與都市環境效益考量，選擇在台北、台中及台南三地區設置試驗場地，三地區平均間距約為 170 公里，居住人口稠密且建築密度高。台北試驗地點位於台北市文山區政治大學的道藩樓、台中為台中市太平區勤益科技大學的管理館、台南為台南市仁德區的民宅。三處試驗場地周圍空曠，沒有阻擋物遮避陽光。台北試驗場地周圍為同高度之教室建築及綠地，台中試驗場地周圍為較低矮之建築及空地，台南試驗場地周圍為同高之住宅建築及綠地。

本試驗自 2010 年 11 月底完成三地試驗裝置，養護 1 個月。於 2011 年 1 月開始監測至 2011 年 12 月止，試驗期間於每月最後一週記錄數據及拍攝照片，共記錄 12 個月。



圖 7 試驗植栽槽照片
(資料來源：本研究拍攝)

二、試驗期間氣象狀況

本試驗於試驗期間(2011 年)在台北、台中及台南試驗場設置雨量計(Spectrum 3554WD)，記錄降雨量，並採用中央氣象局於各地測站之氣溫及日射量數據作為試驗期間之氣象記錄，其記錄資料如下所述。

台北地區全年多雨潮濕，年降雨量為 2660.1 mm，以 5 月 381.7 mm 平均降雨量最多，以 7 月 63 mm 平均降雨量最少(圖 8)。氣溫方面，屬夏熱冬溫，年平均溫度為 22.7 °C，以 7 月 29.7 °C 平均最高，以 1 月最低，僅 13.7 °C(圖 9)。日射量方面，年平均日射量為 293.3 MJ/m²，以及 8 月 470.7 MJ/m² 平均最高，以 12 月平均最低，僅 89.3 MJ/m²(圖 10)。

台中地區夏雨冬乾，年降雨量為 1440 mm，以 7 月 329.9 mm 平均降雨量最多，以 4 月平均降雨量最少，僅有 5.5 mm(圖 8)。氣溫方面，屬夏熱冬溫，年平均溫度為 23.5 °C，以 6 月 29.1 °C 平均最高，以 1 月最低，僅 14.9 °C(圖 9)。日射量方面，年平均日射量為 442.6 MJ/m²，以 7 月 573.8 MJ/m² 平均最高，以 1 月平均最低，僅 330.7 MJ/m²(圖 10)。

台南地區夏雨冬乾，年降雨量為 977.5 mm，以 6 月 283.6 mm 平均降雨量最多，以 5 月平均降雨量最少，僅 0.9 mm(圖 8)。氣溫方面，屬全年溫暖，年平均溫度為 24 °C，以 8 月 29.5 °C 平均最高，以 1 月最低，僅 15.4 °C(圖 9)。日射量方面，年平均日射量為 497.2 MJ/m²，以 6 月 619.6 MJ/m² 平均最高，以 12 月平均最低，僅 308.2 MJ/m²(圖 10)。

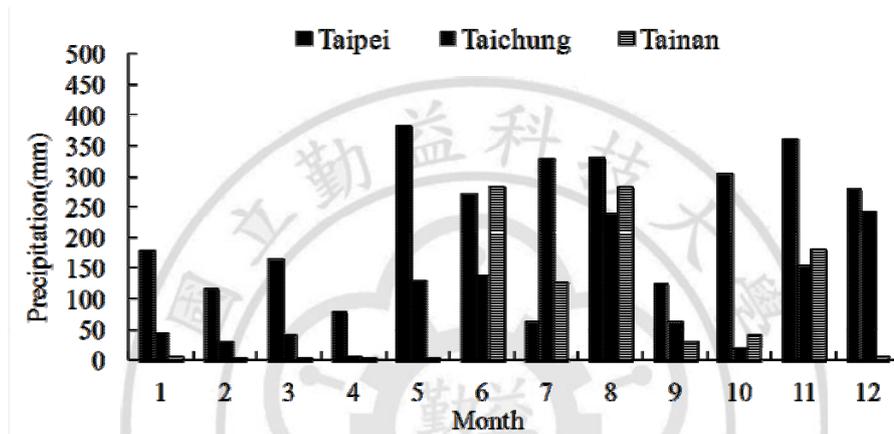


圖 8 試驗期間(2011 年)台北、台中及台南降雨量統計圖
(資料來源：本研究製圖)

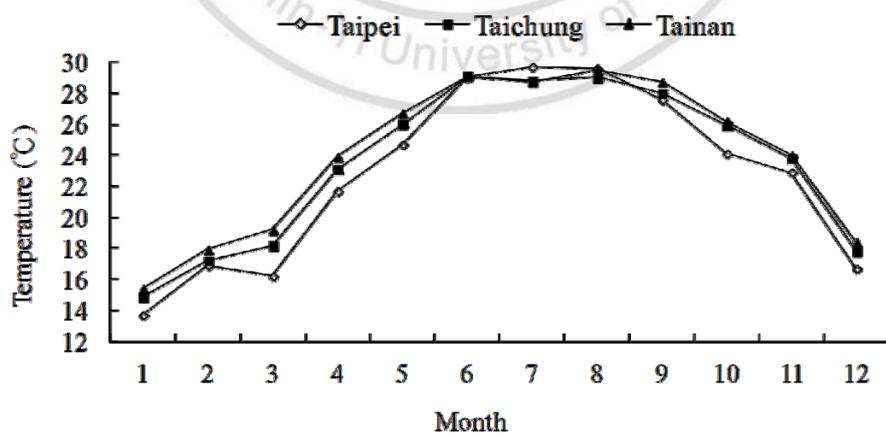


圖 9 試驗期間(2011 年)台北、台中及台南氣溫統計圖
(資料來源：本研究製圖)

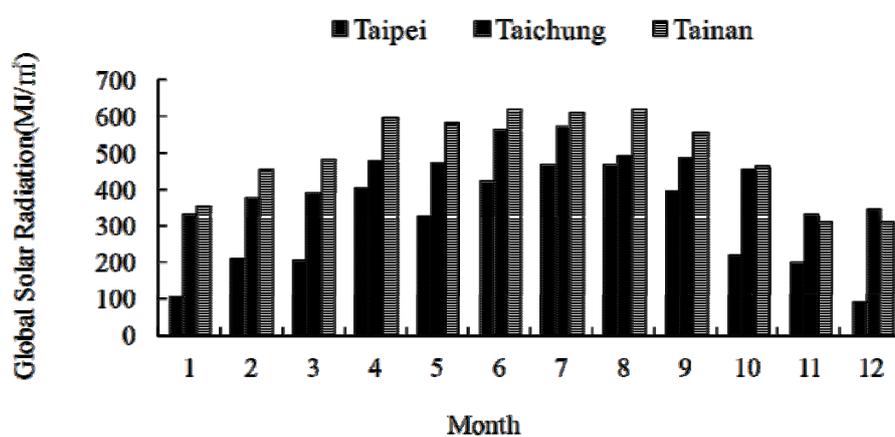


圖 10 試驗期間(2011 年)台北、台中及台南日射量統計圖
(資料來源：本研究製圖)

三、試驗裝置

本研究於每個試驗地點設置長 3 m×寬 2 m×高 0.2 m 的植栽槽，植栽槽由下而上依序鋪設架高層、防根墊、排保水層、過濾層、介質層及植栽層，植栽槽周圍以空心磚收邊(圖 11)，本試驗植栽槽結構是引用前人研究建議形式(方智芳, 2011^b)。各層結構說明如下：

(一)架高層：於植栽槽最底層設置排水板(PVC 材質製成，長 32.5 cm×寬 32.5 cm×高 3 cm)，將薄層屋頂綠化所有材料架離地面 3 cm，避免樓板與植栽槽底部直接接觸，此空氣層可保持通風、乾燥，避免植栽根部破壞樓板造成樓板滲水。

(二)PE 防根墊：於架高層上方鋪設 PE 防根墊(8 mm)，避免根部竄出，破壞樓板。

(三)排保水層：採用寶銳植物生長座(長 50 cm×寬 50 cm×高 5.3 cm)。此產品以 PP 材質製成，淨重約 600 g/片。單塊生長座設計 25 個蓄水杯，可將多餘水分保留在杯狀空間中，蓄水量為 8.9 L/m²，當蓄水杯滿溢時，可沿著排水溝槽流出。

(四)過濾層：採用不織布(1 mm)作為過濾層，避免介質流失堵塞排水孔。

(五)介質層：填入經調配的輕量介質，以支撐植株及提供植物養份，介質深度為 15 cm。

(六)植栽層：以 20 種常見植物為試驗材料(種植密度為 20 株/m²)。同種植物皆產於同一苗圃，初始種植時每株植栽約等同大小，其中草皮類以草毯方式鋪設(鋪設面積為 50 cm×50 cm)，其餘植株皆為以培養土育苗之 3 吋盆，去除塑膠盆後種植於植栽槽中。

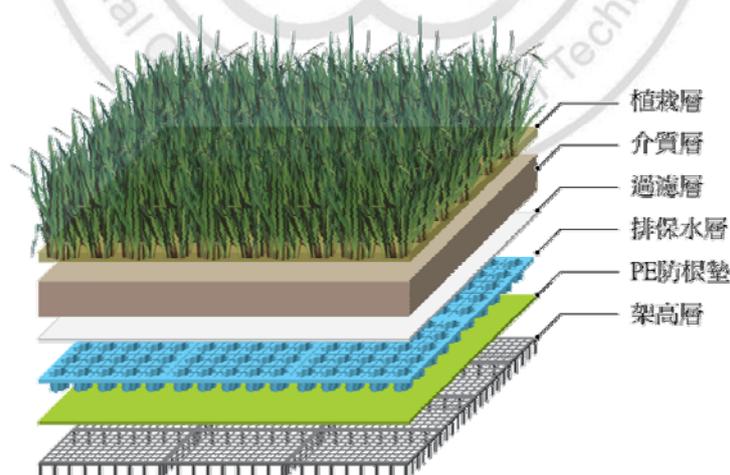


圖 11 試驗植栽槽結構圖

(資料來源：方智芳，2011^b)

第二節 試驗設計

本研究試驗地之植栽槽方位皆相同(南北向)。在長 3 m×寬 2 m×高 0.2 m 的植栽槽中，以白色尼龍線劃分成 24 個長 0.5 m×寬 0.5 m×高 0.2 m 的小樣區，在每個小樣區中種植一種植物（共 20 種植物），每種重複種植 5 株；草皮類植物以草毯方式密鋪(長 0.5 m×寬 0.5 m)，每種鋪設面積為 0.25 m²。另有 4 個小樣區為裸露土壤，作為對照組。植栽排列方式除對照組位置固定之外，其餘二十種植栽是以隨機方式排列，三地區植栽槽之植栽種植位置均以相同排列方式。

一、植栽種類

薄層屋頂綠化的植物需具備低矮、淺根、耐極端氣候、抗逆性強、易移植、耐修剪、生長緩慢、再生能力強、具自播性(自行繁殖)及低維護管理等條件(日本財團法人都市綠化技術開發機構，1998^b；張育森，2011)。另外，根據方智芳(2011^a)的研究結果指出薄層屋頂綠化種植高度較高、覆蓋度較大的植栽，可達到較佳的減熱效應。故本研究以薄層屋頂綠化的環境效益為考量，以篩選出具高度較高、覆蓋度較大的植物為目標。

另外，據國內學者研究(陳坤燦，2008；方智芳，2009；廖朝軒，2010；劉思吟，2011；方智芳，2011^a；方智芳，2011^b)，整理得知草皮類植物可快速達到高覆蓋度的綠化效果。蔓性植物的莖具匍匐性生長範圍大。多肉植物具株高矮、淺根、耐旱及生長緩慢等特性，在溫帶國家試驗中為薄層屋頂綠化適生植物。低莖植物(植株高度 30 cm 以下)具淺根、株高矮及易移植等特性將來維護管理較為方

便。高莖植物(植株高度 30cm 以上)種植於薄層屋頂綠化上具有較佳的隔熱效果。因此本研究選擇這五類植物作為試驗材料,並依據前人研究建議篩選耐熱、耐旱、生性強健、市面上易取得且價格便宜的植物。

草皮類包含台北草 *Zoysia matrella* (L.) Merr. cv.及百慕達草 *Cynodon dactylon* (L.) Pers. cv. Tif lawn, 共 2 種。蔓性植物包含蔓花生 *Arachis duranensis* Krapov. & W. C. Greg.、穗花木藍 *Indigofera spicata* Forsk.共 2 種。多肉植物包含松葉牡丹 *Portulaca pilosa* L. subsp. *grandiflora* (Hook.) Geesink、馬齒牡丹 *Portulaca oleracea* L. var. *granatus* Bailey、長壽花 *Kalanchoe blossfeldiana* var. Poellnitz、石蓮花 *Graptopetalum paraguayense* (N. E. Br.) E. Walth.、蘆薈 *Aloe vera* (L.) Webb. var. *chinensis* Haw.及黃邊蝴蝶之舞 *Kalanchoe fedtschenkoi* Hamet & Perr cv. Marginata, 共 6 種。低莖植物包含小葉到手香 *Plectranthus socotranum*、絨葉小鳳梨 *Cryptanthus bivittatus* (Hook.) Regel、腎蕨 *Nephrolepis auriculata* (L.) Trimen 及武竹 *Asparagus densiflorus* (Kunth.) Jessop cv. Sperneri, 共 4 種。高莖植物包含斑葉桔梗蘭 *Dianella ensifolia* (L.) DC. cv. Silvery Stripe、馬利筋 *Asclepias curassavica* (L.)、射干 *Belamcanda chinensis* (L.) DC.、蜘蛛百合 *Hymenocallis speciosa* (L. f. ex Salisb.) Salisb.、孤挺花 *Hippeastrum hybridum* cv.及馬纓丹 *Lantana camara* (L.) cv. Mista, 共 7 種(表 6)。試驗植栽特性請見表 7, 植栽種植初始尺寸請見附錄四。

表 6 初選試驗植栽名錄表

植栽型態	中名	學名	科別
草皮類	台北草(馬尼拉草)	<i>Zoysia matrella</i> (L.) Merr. cv.	禾本科
	百慕達草(狗牙根)	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers. cv. Tif lawn	禾本科
蔓性植物	蔓花生	<i>Arachis duranensis</i> Krapov. & W. C. Greg.	豆科
	穗花木藍	<i>Indigofera spicata</i> Forsk.	豆科
多肉植物	松葉牡丹	<i>Portulaca pilosa</i> L. subsp. <i>grandiflora</i> (Hook.) Geesink	馬齒莧科
	馬齒牡丹	<i>Portulaca oleracea</i> L. var. <i>granatus</i> Bailey	馬齒莧科
	長壽花	<i>Kalanchoe blossfeldiana</i> var. Poellnitz	景天科
	石蓮花(風車草)	<i>Graptopetalum paraguayense</i> (N. E. Br.) E. Walth.	景天科
	蘆薈	<i>Aloe vera</i> (L.) Webb. var. <i>chinensis</i> Haw.	百合科
	黃邊蝴蝶之舞(鑲邊錦蝶)	<i>Kalanchoe fedtschenkoi</i> Hamet & Perr cv. Marginata	景天科
	低莖植物	小葉到手香	<i>Plectranthus socotranum</i>
絨葉小鳳梨		<i>Cryptanthus bivittatus</i> (Hook.) Regel	鳳梨科
腎蕨		<i>Nephrolepis auriculata</i> (L.) Trimen	篠蕨科
武竹		<i>Asparagus densiflorus</i> (Kunth.) Jessop cv. Spengeri	百合科
高莖植物	斑葉桔梗蘭(花葉山菅蘭)	<i>Dianella ensifolia</i> (L.) DC. cv. Silvery Stripe	百合科
	馬利筋(尖尾鳳)	<i>Asclepias curassavica</i> (L.)	蘿藦科
	射干	<i>Belamcanda chinensis</i> (L.) DC.	鳶尾科
	蜘蛛百合	<i>Hymenocallis speciosa</i> (L. f. ex Salisb.) Salisb.	百合科
	孤挺花	<i>Hippeastrum hybridum</i> cv.	石蒜科
	馬纓丹(橙紅馬纓丹)	<i>Lantana camara</i> (L.) cv. Mista	馬鞭草科

(資料來源：本研究製表)

表 7 二十種試驗植栽特性整理表

植栽特性
<p>中名：台北草(馬尼拉草)</p> <p>學名：<i>Zoysia matrella</i> (L.) Merr. cv.</p> <p>英名：Manilagrass</p> <p>科屬：禾本科朝鮮草屬</p> <p>型態特徵：多年生草本。株高 5-10 cm，具匍匐的地下莖，地下莖前端由葉鞘包裹，非常堅硬。葉淡綠色，葉質粗糙(蔡福貴，2003)。葉線形，長約 3-6 cm，寬 0.1-0.2 cm，冬至春季開花，總狀花序，頂生，小穗側扁，具小花 1 朵。內穎表面無毛，穎果黃褐色(薛聰賢，2003)。</p> <p>產地與習性：原產熱帶亞洲，台灣產於海岸沙地或草生地。性喜高溫、向陽乾燥之地，生育適溫 22-30 °C。生性強健，耐熱、耐旱、耐鹽、耐瘠、耐踏、抗風、不易結縷。栽培介質可用沙土、壤土或砂質壤土。日照 80-100%(薛聰賢，2003)。</p>
<p>中名：百慕達草(狗牙根)</p> <p>學名：<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers. cv. Tif lawn</p> <p>英名：Bermuda Grass</p> <p>科屬：禾本科狗牙根屬</p> <p>型態特徵：多年生草本。株高約 10-20 cm。匍匐莖橫走，節易發根。稈纖細，斜生或直立。指狀總狀花序，頂生，小穗具 1 小花，黃綠至黃褐色。穎果細小，褐色(薛聰賢，2003)。</p> <p>產地與習性：分佈溫帶至熱帶地區。台灣產於低海拔向陽之草生地、空曠地等。性喜高溫、向陽、溼潤至乾燥之地，生育適溫 22-32 °C。生性強健，成長快速、耐熱、極耐旱、耐鹽、耐瘠、抗風、抗病蟲害、耐踏。栽培介質以壤土或砂質壤土為佳，日照 80-100%(薛聰賢，2003)。(Tifton57) 生長勢很強，葉色深綠，抗蟲、抗病強，抗旱性強，具有中等的耐寒性，可用無性繁殖(蔡福貴，1993)。</p>
<p>中名：蔓花生</p> <p>學名：<i>Arachis duranensis</i> Krapov. & W. C. Greg.</p> <p>科屬：豆科花生屬</p> <p>型態特徵：宿根草本。莖呈蔓性，匍匐生長，高 5-15cm。葉互生，小葉二對，夜晚會閉合，倒卵形，全緣。春至秋季均能開花，腋生，蝶形花，黃色(薛聰賢，2002)。</p> <p>產地與習性：原產於南美洲。生性強健，莖節易發根。性喜高溫多濕，生育適溫 20-30 °C。栽培土質以肥沃之砂質壤土最佳，日照、排水需良好。</p>

中名：穗花木藍

學名：*Indigofera spicata* Forsk.

英名：Trailing indigo

科屬：豆科木藍屬

型態特徵：一年生匍匐性草本(鄭元春, 1997)。莖匍匐性，長可達數公尺，平臥地面生長。奇數羽狀複葉，小葉長橢圓狀倒卵形，先端鈍圓或突尖，葉長 1-2 cm，背面被毛，全緣。夏至秋季開花，總狀花序，腋生或頂生，蝶形花冠，粉紅至紫紅色。莢果線狀，具 4 稜，末端有逆刺(薛聰賢, 1998^o；薛聰賢, 2003)。

產地與習性：分佈中國大陸南部、印度、非洲、澳洲。台灣產於中、低海拔山區至平地，向陽乾燥之草地、荒地、山坡、河床等。性喜高溫、向陽溼潤或乾燥之地，生育適溫 20-30 °C。生性強健，耐熱、耐旱、耐風、耐瘠(薛聰賢, 1998^o；薛聰賢, 2003)。

中名：松葉牡丹

學名：*Portulaca pilosa* L. subsp. *grandiflora* (Hook.) Geesink

英名：Rose Moss

科屬：馬齒莧科馬齒莧屬

型態特徵：多年生宿根草本，株高 10-15 cm，莖呈匍匐性。葉互生，圓柱狀線形，肥厚多肉，簇生葉片似松葉。花頂生，單瓣花形(薛聰賢, 1998^o)。花瓣 5 枚，中心為雌蕊 1 枚及雄蕊多數環繞而生，花徑 4-6 cm(王銘琪, 1998)。

產地與習性：原產南非南部(王銘琪, 1998)。性耐旱喜高溫，生育適溫 15-30 °C。栽培土質以肥沃砂質壤土最佳，排水、日照需良好。不可密植或土壤長期潮濕，否則莖葉易腐爛(薛聰賢, 1998^o)。

中名：馬齒牡丹

學名：*Portulaca oleracea* L. var. *granatus* Bailey

英名：Purslane

科屬：馬齒莧科馬齒莧屬

型態特徵：多年生宿根草本，株高 8-15 cm，具匍匐性，莖、葉肉質狀。葉互生，長橢圓形，全緣。花期極長，春末至初冬均能開花，花頂生，每莖著蕾數枚，但每日僅能開 1 朵花，上午開花，午後即謝。花形單瓣，花色有紅、橙紅、桃紅、黃、白等色(薛聰賢, 2004)。

產地與習性：為松葉牡丹與馬齒莧的雜交種(王銘琪, 1998)。性喜高溫耐旱，生育適溫約 22-30 °C，夏季或梅雨期應防長期潮濕或過度擁擠而導致腐爛，冬季要溫暖避風越冬，減少灌水。栽培土質以疏鬆肥沃之砂質壤土最佳，排水需良好，排水不良莖枝易腐爛。日照要充足，蔭庇處不易開花或開花不良(薛聰賢, 2004)。

植栽特性

中名：長壽花

學名：*Kalanchoe blossfeldiana* var. Poellnitz

英名：Kalanchoe

科屬：景天科燈籠草屬

型態特徵：肉質草本。株高 10-30 cm，葉對生，橢圓形或卵形，粗鋸齒緣，2.5-7.5 cm 長。花序略呈繖房狀，花頂生，筒狀花冠，小花簇生成團，本種花色為桃紅色。自然花期在 1-2 月間，栽培時可由冬末至早春(王銘琪，1997；薛聰賢，2002^a)。

產地與習性：原產於馬達加斯加或栽培種。栽培土質以疏鬆肥沃的砂質壤土最佳。性耐乾旱，排水力求良好。栽培處全日照、半日照或有散光約 60-70%均理想，光照弱葉片較翠綠。矮性品種夏季呈半休眠狀態，應保持涼爽越夏。性喜溫暖，生育適溫 20-28 °C(薛聰賢，2002^a)。

中名：石蓮花(風車草)

學名：*Graptopetalum paraguayense* (N. E. Br.) E. Walth.

英名：Ghost Plant

科屬：景天科風車草屬

型態特徵：多年生多肉植物。肉植莖銀白或灰綠，葉厚如湯匙，尾端微尖，淡紫或灰綠色，葉片組合狀似風車，花腋出穗狀花序，花冠淡黃色，蒴果長橢圓形。

產地與習性：原產於墨西哥。冬季是休眠期，切勿受寒害，不可大量灌水。栽培土質以疏鬆肥沃之腐植質沙土為佳。性耐旱，排水務求良好，排水不良或培養土長期潮溼，容易導致腐爛，平時灌水不可太勤，保持半乾旱對生育有利。性喜溫暖至高溫，生育適溫約 15-28 °C，冬季要溫暖避風越冬(薛聰賢，2002^a)。

中名：蘆薈

學名：*Aloe vera* (L.) Webb. var. *chinensis* Haw.

英名：Chinese Aloe

科屬：百合科蘆薈屬

型態特徵：多年生肉植草本。莖短；葉呈蓮座狀排列，長 15-30 cm，有鞘，基生及莖生，肉質、披針狀劍形，先端下傾、反捲，背部凸出，藍綠色或粉綠色，基部有白色點紋，邊緣有刺；總狀花序，長 60-90 cm，腋生，花多，花冠筒狀，黃色至紅黃色，花萼綠色；花期 7-8 月；蒴果三角形(費硯良、張金政，1999)。

產地與習性：原產印度。原種 *A. vera* (L.) 分佈於地中海地區。性強健，耐乾旱。喜光，喜暖熱乾燥的環境，不耐寒，經霜後如燙熟狀；在中國除華南、西南一帶可地栽外，其他地區只能作溫室花卉栽培。冬季室溫不低於 5 °C；不需大水大肥。生長期宜稍溼，休眠期宜乾。喜排水良好、肥沃的砂質壤土，耐鹽鹼；不耐陰，庇蔭條件下常不開花(費硯良、張金政，1999)。

中名：黃邊蝴蝶之舞(鑲邊錦蝶)

學名：*Kalanchoe fedtschenkoi* Hamet & Perr cv. Marginata

英名：Lavender Scallops

科屬：景天科黃邊蝴蝶之舞屬

型態特徵：多年生肉質草本。株高 50-120 cm；莖圓柱形，直立粗壯，綠色，光滑，微被白粉，節明顯，有分枝；基部有吸根，有時稍木質化。葉面藍綠色或灰綠色，單葉對生，排列密集，倒卵形或倒卵狀橢圓形，長 3-7 cm，寬 2.5-4 cm，先端圓鈍，基部漸狹成柄，扁平，肉質多漿，葉緣具明顯之乳白色鑲邊，上半部有圓齒，齒隙常生粉紅色小植物體。花兩性，聚繖花序，頂生，疏鬆，花冠高腳碟狀，橘黃色或肉紅色，紙質；花瓣 4 枚，倒卵形，先端鈍，基部稍膨大，包於萼筒內，向上狹縮成管狀，露出萼筒外。花萼稍膨大，粉紅色，紙質，萼管長圓形或近壺形，裂片 4 枚，三角形，先端銳尖；蓇葖果包於宿存的花萼和花冠內；種子小，多數，倒卵形。花期二至四月，果期三至五月(台東洪記植物網，2012)。

產地與習性：原產馬達加斯加島，現已於全世界熱帶至亞熱帶地區歸化生長，本種為栽培種。屬陽性植物，栽培處除盛夏需稍遮蔭外，其餘季節日照均需充足，半日照亦勉強；蔭蔽易徒長，常脫腳或彎曲不挺，且生育開花不良。性極耐旱，保持半乾旱狀態有助生育，過濕易腐爛；平時灌水不可過勤，土壤乾燥後再澆水即可；雨季需注意及時排澇，勿放任長期潮濕。冬季休眠期需溫暖避風越冬，並減少澆水，停止施肥。生性強健粗放，喜溫暖，耐旱，生育適溫 15-28 ℃。栽培土質以疏鬆肥沃之腐植質沙土為佳，排水務求良好(薛聰賢，2002^a)。

中名：小葉到手香

學名：*Plectranthus socotranum*

英名：Small-leaf Mexican Mint

科屬：唇形科香茶菜屬

型態特徵：多年生草本，株高 15-30 cm，葉肥厚，對生，廣卵形，細齒緣。全株密被細毛，具強烈特殊辛香味(台東洪記植物網，2012)。

產地與習性：原產熱帶美洲。性強健，喜高溫，耐陰、耐旱。栽培土質以疏鬆肥沃之砂質壤土為佳，排水、日照需良好。摘心或修剪可促進分枝(台東洪記植物網，2012)。

中名：絨葉小鳳梨

學名：*Cryptanthus bivittatus* (Hook.) Regel

英名：Dwarf Rose-Stripe Star

科屬：鳳梨科小鳳梨屬

型態特徵：多年生草本。株形矮小，由劍形硬葉作密集放射狀叢生成簇，高約 8-10 cm，葉張開之直徑可及 22 cm 以上。葉長約 10 cm，寬 3 cm 左右。葉色有褐色、深棕色及玫瑰紅色斑條變

植栽特性

化，最外緣及中央各成深棕色，介於其間則呈兩道淺肉褐色，葉基向株心部分泛玫瑰紅暈，葉緣波狀起伏顯著，有細銳鋸齒。葉背略呈粉白色。葉質略厚而硬挺，易生仔株吸芽。

產地與習性：原產於巴西。適於在略有遮陰環境，生長適溫 16-20 °C 以上，冬季應防寒，最好保持 15 °C 以上。澆水以少次為佳，冬季則保持乾燥狀態(王銘琪，1997)。

中名：腎蕨

學名：*Nephrolepis auriculata* (L.) Trimen

英名：Tuberous Sword Fern

科屬：蕨科腎蕨屬

型態特徵：多年生草本，根莖短，葉叢生，被有多數黃棕色狹線形鱗片，從根莖上長出許多根狀的走莖，走莖末端有時具有圓球狀塊莖，上頭也同樣佈滿鱗片(球狀塊莖直徑約 1-3 cm)；葉片長 25-60 cm，一回羽狀複葉，羽片無柄，基部歪形且呈耳狀，與葉軸連接處有關節，最下方的羽片有逐漸變小的現象；孢子囊群圓形，具有腎形的苞膜(鄭元春，1997)。

產地與習性：分佈熱帶至亞熱帶地區，台灣產於平地至低海拔山區，常見在向陽的林下、林緣空闊地、岩壁上群生。性喜高溫多溼，生育適溫 20-28 °C。耐陰、耐旱、耐溼、耐強光，喜好空氣溼度高的環境。生性強健，栽培介質可用河沙、腐植土、細蛇木屑、泥炭土等混和栽植。日照 60-80%，保持土壤適潤，空氣溼度高(薛聰賢，2003)。

中名：武竹

學名：*Asparagus densiflorus* (Kunth.) Jessop cv. Sprengerii

英名：Plume asparagus

科屬：百合科天門冬屬

型態特徵：多年生草本，莖直立叢生，葉線形，常數枚輪生，具一條葉脈。總狀花序腋生，花白色，小形，花被片 6 枚，雄蕊 6 枚。漿果熟時呈紅色(蔡振聰、吳純寬，1992)。地下有橢圓形根莖，莖蔓木質化，分枝多，高 0.5-1 m，小枝呈十字對生，假葉 1、2 枚至 3、4 枚群生，線性扁平，黃綠色有光澤(王銘琪，1998)。

產地與習性：原產南非(王銘琪，1998)，現為栽培種，性喜冷涼氣候，需多水份與養份始能生長良好(蔡振聰、吳純寬，1992)。用土以疏鬆、通氣良好的肥沃腐植土最佳。夏季在半月陰下栽培最適(王銘琪，1998)。

中名：斑葉桔梗蘭(花葉山菅蘭)

學名：*Dianella ensifolia* (L.) DC. cv. Silvery Stripe

英名：Umbrella dracena

科屬：百合科

型態特徵：多年生草本。株高 10-70 cm，莖扁圓形。葉叢生，基部重疊，線狀披針形或劍狀，

植栽特性

先端尖，全緣。葉面、葉緣有明顯白色縱紋。夏季成株能開花，淡紫色，小花懸垂性。

產地與習性：為栽培種。栽培土質選擇性不嚴，但以肥沃之砂質壤土最佳。日照良好生育較旺盛，過份陰暗生育不良。性喜高溫多濕，生育適溫約 22-30 °C。生性強健、耐旱、耐濕、耐陰性亦強(薛聰賢，2002^b)。

中名：馬利筋(尖尾鳳)

學名：*Asclepias curassavica* (L.)

英名：Blood flower

科屬：蘿藦科尖尾鳳屬

型態特徵：多年生宿根草本。株高約 1 m。莖基部半木質化；樹皮平滑；葉對生，長橢圓披針形，全緣，長 5-10 cm，寬 2.5-4 cm；花由莖頂葉腋開出，作聚繖花序排列。花梗長約 4 cm，花瓣紅色呈深裂長橢圓形，反曲，花冠 5 裂，裂片呈帽狀，副冠黃色。花後結羊角形莢果，成熟時自動裂開，內藏具白綿毛之種子(王銘琪，1998；蔡振聰、吳純寬，1992)。

產地與習性：原產熱帶美洲，目前已歸化品種。性喜高溫耐旱，好多肥，生育適溫 22-30 °C。栽培土質以肥沃之砂質壤土或壤土為佳，排水、日照需良好。春至夏季蟲害較多(薛聰賢，2004)。

中名：射干

學名：*Belamcanda chinensis* (L.) DC.

英名：Blackberrylily

科屬：鳶尾科射干屬

型態特徵：多年生宿根草本。株高約 1 m。具短而健壯的黃色根莖；劍形葉基生或莖生，30-45 cm 長，2.5 cm 寬、花多，每花序可著生 15-20 朵花，但僅有 3-4 朵同時開放，每朵花可維持 4-5 天，旋生於花莖，乾後凋落；花兩性，深橙色，上有紅色斑點，花徑 4-5 cm，規則對稱，花絲紫紅；花期 7-9 月。蒴果，秋季成熟，種子黑色，似黑莓，宿存，亦可觀賞(費硯良、張金政，1999)。

產地與習性：原產中國及日本、朝鮮，廣佈於中國南北，多生於山坡、草地、溝谷及灘地。適應性強，喜肥沃、沙質土壤，陽光充足，但對土壤要求不嚴(費硯良、張金政，1999)。

中名：蜘蛛百合

學名：*Hymenocallis speciosa* (L. f. ex Salisb.) Salisb.

英名：Spider Lily

科屬：百合科螯蟹花屬

型態特徵：常綠球根草本，地下莖為粗大球形鱗莖，外被褐色薄片。植株成大型葉叢，基部抱鱗莖，葉片劍形，具短柄，質地厚肉質，長 40-70 cm，寬 2.5-6 cm，先端尖，全緣，深綠色，兩面光滑無毛。聚繖花序生鱗莖葉腋，花葶(莖)高 30-80cm，扁平，粉綠色，多數，順序開花；外苞片長 5-7 cm，基部極闊；花 3-8 朵，聚生花葶頂端，幾無梗，花筒部細長，花冠白色、星

植栽特性

形，6 枚展開或略外翻，徑約 20 cm，瓣基三分之一處有扇形副冠相連，由副冠往外突出綠色花絲及 T 形相接之黃色花藥，香氣如香茱萸氣味，花被管圓柱形，纖弱，長短不一，裂片線形；雄花 6 枚，著生花管喉部；子房下位，卵形，柱頭頭狀。夏季開花。果實為蒴果，球形，三稜形(陳運造，1997；薛聰賢，2002^a)。

產地與習性：原產西印度群島。中國福建、廣東、廣西、雲南等地有栽培。台灣於 1910 年藤根吉春氏從新加坡引進種植。生性強健，耐旱、耐溼、耐陰。全日照、半日照或稍蔭庇處均能成長。性喜高溫多溼，夏季為生育盛期，需保持濕潤，勿任其乾旱。生育適溫 25-30 °C。栽培介質選擇性不嚴，但以溼潤而肥沃之砂質壤土或壤土生育最佳(薛聰賢，2002^a)。

中名：孤挺花

學名：*Hippeastrum hybridum* cv.

英名：Gardener's amaryllis

科屬：石蒜科孤挺花屬

型態特徵：多年生草本球根花卉。株高 20-30 cm，花莖高可達 50 cm。葉帶狀革質，自鱗莖頂端生出。春季花莖自鱗莖抽出，中空圓筒狀，頂端著花 2-6 朵，繖形花序，形似大喇叭，花被 6 片，本種花色為紅色。花後能結蒴果，內藏薄膜狀種子(薛聰賢，2002^a)。

產地與習性：原產墨西哥，雜交種於 1960 年由英國引入(董立，1985)。性喜溫暖至高溫，生育適溫 15-30 °C。性耐旱也耐溼，任何土質均可栽培，但以肥沃之砂質壤土最佳，排水力求良好。全日照、半日照均理想(薛聰賢，2002^a)。

中名：馬纓丹(橙紅馬纓丹)

學名：*Lantana camara* (L.) cv. Mista

英名：Common Lantana

科屬：馬鞭草科馬纓丹屬

型態特徵：常綠半蔓性灌木(鄭元春，1997)。株高約 60-80 cm，全株具有強烈氣味，莖圓形新枝近方形且具逆鉤刺。葉對生，卵形，葉片有皺縮狀，觸摸時有粗糙感，先端尖基部心臟形，背面密被毛。花朵著生枝端，繖房花序，花由外向內開放(蔡振聰、吳純寬，1992)。頭狀花序呈繖房狀，腋出，花冠高盆狀初呈黃色、淡紅及紫紅後變為橙色或農紅色。核果球形，肉質，光滑，內藏種子 1 粒(蔡福貴，1993；蔡福貴，1998)。

產地與習性：原產熱帶美洲，早在 200 多年前由荷蘭人據台時栽種，因氣候適合，已接近馴化野生種，性強健，喜乾燥向陽處(蔡福貴，1993)。全日照或半日照處均適宜，對土質不苛求，但排水務必力求良好，耐旱力極強(蔡福貴，1998)。

二、介質條件

本研究使用介質配比例是參考方智芳(2009)研究建議適合多數植物生長的介質配比及深度，為輕量介質(泥炭土：真珠石：蛭石=1：1：1)：砂質壤土=6：4組成，即泥炭土：真珠石：蛭石：砂質壤土 = 20：20：20：40，介質配比为體積比。鋪設深度為 15 cm。

三、灌溉量

本研究以土壤水分張力作為植栽是否需要灌溉的依據。當土壤水分張力介於 30-60kPa 時，代表土壤內所含的有效水已不足使用，表示土壤需要灌溉(Spectrum Technologies, Inc.)，但本研究認為薄層屋頂綠化的土壤水分張力達 30kPa 時就灌溉，恐有浪費水資源之疑慮，若在土壤水分張力達 60kPa 時才灌溉，可能致使植栽臨永久凋萎點。且參考先前學者於葡萄園灌溉處理以土壤水分張力達 40 kPa 時才灌溉為「乾」的處理方式(于迺文，1987)，因此本研究決定當土壤水分張力 40kPa 時進行灌溉。

為探討每次的灌溉基準量，本研究設置一座長 0.5 m×寬×0.5 m×高 0.2 m 的薄層屋頂綠化模擬裝置(圖 12)，其裝置所使用的材料與三地區設置的植栽槽相同。並在介質中埋設 3 個土壤水分張力感測器(Spectrum 6450)。首先於模擬裝置中澆灌水分，當水分溢流出植栽槽後，每日使用土壤水分張力感應器讀取儀(Spectrum 6465)觀測土壤水分張力數值。當土壤水分張力由 0kPa 升至 40kPa 時，再次開始進行澆灌，澆灌至溢流水流出為止，並記錄累積灌溉水量。此試驗每次澆灌後，

待土壤水分張力恢復至 0kPa 時，再次進行第二次試驗，總共重複三次取平均值，得知當灌溉水量約為 6 L 時(相當 24 mm 降雨量)，土壤水分達飽和狀態。

透過模擬裝置得知單位面積需灌溉水量後，據此訂出本研究的每次灌溉基準量，相當於 24 mm 降雨量。將模擬裝置試驗結果換算於 2 m×3 m×0.2 m 的正式試驗植栽槽(圖 13)，當植栽槽中任一個土壤水分張力感測器讀數達 40 kPa 時，全區每次需均勻灌溉 144 L 的水量¹⁶。



圖 12 薄層屋頂綠化模擬裝置
(資料來源：本研究拍攝)

¹⁶ 計算方式：模擬裝置體積長 0.5 m×寬 0.5 m×高 0.2 m=0.05 m³，需灌溉水 6 L。正式試驗植栽槽 2 m×3 m×0.2 m=1.2 m³。0.05 m³：1.2 m³=6 L：144 L。



圖 13 植栽種類及土壤水分張力感應器分佈位置圖
(資料來源：本研究繪製)

四、資料蒐集方法

國外學者研究中，大多試驗同類型植物，如景天科等多肉植物，透過植物評估方法作分析，得以比較各植物間的生長差異，常見的評估法為生長指數(Rowe *et al.*, 2006; Monterusso *et al.*, 2005; Nagase and Dunnett, 2010; Boussetot *et al.*, 2011) 及覆蓋度(Durhman *et al.*, 2007; Rowe *et al.*, 2006; Monterusso *et al.*, 2005; Boussetot *et al.*, 2011)，前者是評估植物的外型大小，後者是評估植物的茂密程度。而台灣地區植物種類豐富，許多常綠及宿根性草本植物枝葉生長得高大茂密，根

據方智芳(2011^b)研究證實種植高度高、生長茂密的植物能產生良好的環境效益，因此本研究以此為篩選目標，擬篩選出高大茂密的植物。故將覆蓋度及生長指數轉化整合成另一個評估指數，命名為生長覆蓋度指數，可綜合考量植物的生長大小及茂密程度。故本研究使用生長指數、覆蓋度及生長覆蓋度指數三種評估方法分析植物生長狀況，最後再分類討論各種類型植物之生長情形。另外，為得知灌溉水量及其頻率，同時監測三地區之土壤水分張力及降雨量，各參數說明如下：

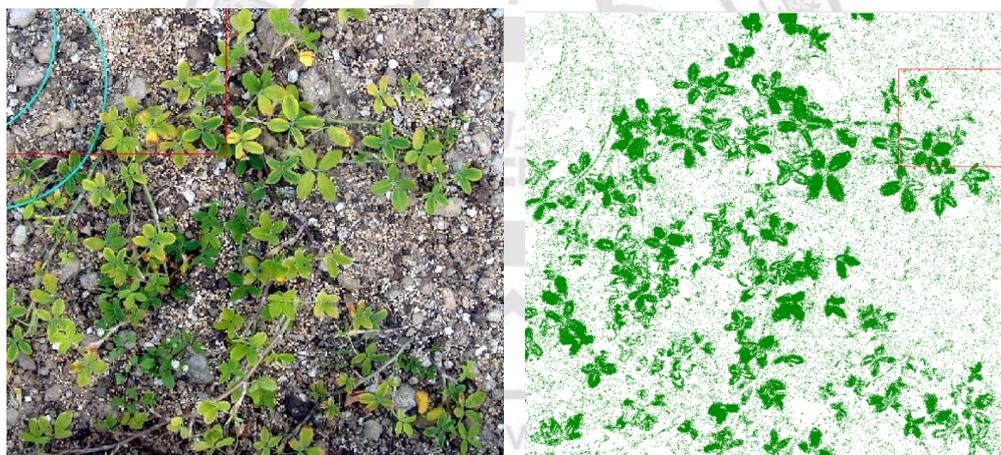
(一)生長指數

試驗期間每月月底以皮尺測量每株植物的最大長度、寬度及高度(單位為 cm)，並將長度、寬度、高度相加，可獲得該株植物的生長指數(Rowe *et al.*, 2006)。將同種植物的生長指數取平均值，可獲得該種植物的平均生長指數(簡稱生長指數)。生長指數依植物形態差異無標準指數上限，本研究以單株植栽生長佈滿種植小區之最大長(50 cm)、寬(50 cm)及高(50 cm)總和 150 cm 為生長指數最大值。將最大值平均分為三等份，可劃分出三個等級，當平均生長指數為 0-50 cm 定義為生長不良；51-100 cm 定義為生長中等；101-150 cm(含)以上定義為生長良好。篩選時段為待植物生長穩定後再進行，自 2011 年 10 至 12 月中，兩個月(含)以上的生長指數屬於生長良好狀態者視為適生植物。

(二)覆蓋度

試驗期間每月月底於每種植物上方 1.2 m 處拍攝照片，將影像輸入電腦並裁切測量單元的圖片。以 ENVI 4.7 軟體，估計照片中每個小樣區植物的水平投影面積(圖 14)。計算方式為將每個小樣區的栽種面積(0.25 m²)除以 5 等份，可定義

出單株植物若生長覆蓋滿 1/5 小樣區的面積為 0.05 m²。再將單株植物的水平投影面積除以單株栽種面積 0.05 m²，可獲得每株植物的覆蓋度，再分別計算 5 株植物的覆蓋度取平均值，可獲得該種植物的平均覆蓋(簡稱覆蓋度)。植物覆蓋度優劣勢評斷是將指數進行分類，覆蓋度全距為 100%，平均分為三等份，將 0-33%視為生長不良；34-66%視為生長中等；67-100%視為生長良好。參照德國的屋頂綠化發展原則、指南與規範要求屋頂綠化的植栽至少要能覆蓋 60%的面積(景觀發展與景觀建築研究協會 FLL, 1995)，而本研究以覆到度達 67%以上視為良好，可更嚴格地篩選出高覆蓋度的植物種類。篩選時段以待植物生長穩定後，自 2011 年 10 至 12 月中，兩個月(含)以上的覆蓋度為生長良好狀態者視為適生植物。



(左圖為原始拍攝照片，右圖為影像作色彩分類配置後得出目標植栽分布範圍)

圖 14 運用影像處理計算覆蓋度對照圖

(資料來源：本研究繪製)

(三)生長覆蓋度指數

覆蓋度為評估植栽茂密程度，而生長指數為評估植栽外形大小，本研究擬結合覆蓋度及生長指數，整合成一「生長覆蓋度指數」，可同時評估植栽茂密程度及

外型大小。將覆蓋度分成十個等級，級距以 10% 為一級，第一級為 0-10%、第二級為 11-20%.....第十級為 91-100%。亦將生長指數分成十等級，級距以 15 cm 為一級，第一級為 0-15 cm、第二級為 16-30 cm.....第十級為 136-150 cm(含)以上，生長指數最大值是以每株植物生長至佈滿種植小區(長 50 cm+寬 50 cm+高 50 cm = 150 cm)為預設最佳生長尺度。將每種植物的平均覆蓋度等級(1-10 級)乘以生長指數等級(1-10 級)，可獲得平均生長覆蓋度指數(1-100 單位，簡稱生長覆蓋度)(表 8)。生長覆蓋度指數全距為 100，將全距平均分為三等份，可將生長覆蓋度指數分為三個等級，指數 1-33 為不良，34-66 為中等，67-100 為良好。篩選時段為待植物生長穩定後再進行，自 2011 年 10 至 12 月中，兩個月(含)以上之生長覆蓋度指數為良好狀態者視為適生植物。

表 8 生長覆蓋度指數分級表

生長指數		覆蓋度	
等級	原始數據	等級	原始數據
1	0-15 cm	1	0-10%
2	16-30 cm	2	11-20%
3	31-45 cm	3	21-30%
4	46-60 cm	4	31-40%
5	61-75 cm	5	41-50%
6	76-90 cm	6	51-60%
7	91-105 cm	7	61-70%
8	106-120 cm	8	71-80%
9	121-135 cm	9	81-90%
10	136-150 cm 以上	10	91-100%

×

=生長覆蓋度指數

(資料來源：本研究製表)

(四)土壤水分張力及雨量監測

本研究在台北、台中及台南各地區試驗植栽槽中，埋設土壤水分張力感測器(Spectrum 6450)，但受限於感應器數量有限，本研究土壤水分張力感測器以平均分佈方式埋設佈點，於各類植栽(百慕達草、武竹、斑葉桔梗蘭、松葉牡丹、馬纓丹)及裸露土壤(對照組)中，各埋設一個土壤水分張力感測器(圖 13)測量土壤水分張力。記錄方式為每日下午 5 點之後以土壤水分張力儀(Spectrum 6465)讀取各土壤水分張力感測器數值記錄之。當六組感應器中任一個感測器的數值達 40 k Pa 時，則對全區進行灌溉，灌溉方式以花灑進行人工灌溉。另外，本研究在台北、台中及台南各地區試驗植栽槽旁空曠處設置一個雨量計(Spectrum 3554WD)，並設定每十分鐘記錄一筆資料，於每月月底下載一次資料。

五、資料分析方法

(一)植物生長趨勢分析

植物生長趨勢分析是以每月測得的覆蓋度、生長指數及生長覆蓋度指數輸入 Microsoft Office Excel 2007 統計出二十種植栽自 2011 年 1 月至 12 月，三地各月的生長情形，並輸入標準差，以折線圖顯示各種植物之生長趨勢。

(二)灌溉水量及頻率分析

灌溉水量是累計自 2011 年 1 月至 12 月，各月在北、中及南部三地的灌溉次數乘以每次灌溉水量得出年度總灌溉量。再分別以每三個月為一季，分為春夏秋冬四季，計算每季灌溉次數，以當季總日數除以灌溉次數得出季灌溉頻率。同樣以當季總日數除以灌溉水量得出每季灌溉水量。

第四章 結果分析

本研究結果分爲二個部分，第一，從文獻中整理出屋頂綠化植物常見的評估方法有生長指數及覆蓋度，再綜合這兩種方法重新計算出生長覆蓋度指數，本章就以上三種植物評估方法作個別的結果分析。第二，監測三地區之土壤水分張力，得知屋頂綠化澆灌水量及頻率。

第一節 植物生長狀況

一、生長指數統計結果

三地區生長指數在試驗最後三個月中，有兩個月(含)以上位於良好等級(生長指數 $\geq 100\text{cm}$)者視爲適生植物。台北地區生長狀態良好的種類有蔓花生、馬利筋、腎蕨、武竹、蘆薈、蜘蛛百合、斑葉桔梗蘭、射干、孤挺花、穗花木蘭及馬纓丹。台中地區生長良好的種類有蔓花生、馬利筋、腎蕨、武竹、蜘蛛百合、斑葉桔梗蘭、孤挺花、穗花木蘭及馬纓丹。台南地區生長良好的種類有腎蕨、武竹、蜘蛛百合、斑葉桔梗蘭、射干、孤挺花、穗花木蘭及馬纓丹，各種植物生長狀況(圖15)說明如下：

(一)台北草

台北草在台灣三地區生長勢呈夏季高冬季低的現象，但全年生長指數變動幅度不大(從 61-64 cm)。三地區生長狀況僅有小幅度的差異，但是每月之間僅限於

1-2 cm 之間的浮動。從三地區整體的生長趨勢觀察，1-5 月生長指數逐月上升，在 6 月及 9 月稍為下降，12 月時三地均有枯萎的狀態，生長勢稍有下降。

(二)百慕達草

百慕達草在台灣三地區整體的生長趨勢差異不大。秋季之前生長指數逐月遞增，秋季至冬季逐月遞減。全年生長指數變動幅度不大(從 61-65.6 cm)。

(三)蔓花生

蔓花生在台灣三地區生長指數有明顯差異，台北及台中地區 1-9 月之間生長勢呈逐月遞增，9 月過後至 11 月生長指數有些微下降。台南地區全年生長勢逐月下降。

(四)穗花木藍

穗花木藍在台灣三地區生長指數成長迅速，三地區自 3 月過後生長指數逐月遞增。其中台中地區在 6 月時生長勢稍有下降，台北及台南地區生長勢則持續上升。三地區在 7 月時生長範圍迅速擴大，已影響其他植物的生長空間，因此本研究在 8 月時將種植在台北及台中地區的穗花木藍修剪至栽培空間內，台南地區則於 9 月時修剪。三地區修剪後至 10 月期間生長勢仍逐月上升，11 月時生長指數有些微下降，但依然保持在生長良好值範圍內。

(五)松葉牡丹

松葉牡丹在台灣三地區整體生長趨勢一致，位於中等至不良等級之間。在 1-5 月時生長指數逐月遞增，5-8 月生長指數稍有下降，進入秋季之後生長指數逐月下降。

(六)馬齒牡丹

馬齒牡丹在台灣三地區生長指數呈逐月下降之勢。整體而言，台北地區稍為優於台中及台南地區。

(七)長壽花

長壽花在台灣三地區全年生長指數皆位於不良等級。從三地區全年生長趨勢可看出，長壽花在冬季生長狀況較夏季佳。其中台北地區 1-9 月生長勢逐月下降，9-12 月逐月回升。台中地區 1-5 月生長勢逐月下降，5-12 月逐月回升。台南地區 1-8 月生長勢逐月下降，8-12 月逐月回升。整體而言，台中地區生長狀況較台北及台南地區佳。

(八)石蓮花

石蓮花在台灣三地區全年生長指數皆位於不良等級。其中台北地區在 1-4 月生長指數逐月上升，至 4 月時為最高值(63.4 cm)。而台中及台南地區的生長指數則表現平穩，但皆位於不良等級內。

(九)蘆薈

蘆薈在台灣三地區全年生長指數皆位於中等等級，其中台北地區優於台南地區，台南地區優於台中地區。台北地區全年生長指數呈逐月上升之勢。台中地區生長指數全年位於中等至不良等級邊緣。台南地區則在夏季過後生長指數逐月增加。整體而言，蘆薈生長指數雖未能達到良好等級，但全年生長勢穩定。

(十)黃邊蝴蝶之舞

黃邊蝴蝶之舞在台灣三地區全年生長指數界於不良至中等等級之間。其中台北地區 1-5 月生長指數逐月上升，5-8 月生長指數逐月下降，8-12 月生長指數逐月回升。台中地區 1-4 月生長指數逐月上升，4-5 月有些微下降，5-12 月生長指數逐月回升。台南地區 1-4 月生長指數逐月上升，4-5 月有些微下降，在 6 月過後生長指數逐月上升。整體而言，台北地區生長指數隨時間而增加而遞增，明顯優於台中及台南地區。

(十一)小葉到手香

小葉到手香在台灣三地區全年生長指數皆位於中等等級。在 10 月過後生長指數下降，位於在不良值之上。整體而言，在春季至秋季生長指數沒有太大的變化，但在冬季時明顯下降。

(十二)絨葉小鳳梨

絨葉小鳳梨在台灣三地區全年生長指數皆位於不良值。三地區生長趨勢相似，在 1-3 月時生長勢較差，在 3 月過後生長勢逐月上升，在 9 月過後生長勢降低。

整體而言，台北地區生長勢略優於台中及台南地區。

(十三)腎蕨

腎蕨在台灣三地區全年生長指數大多位於良好值之上。其中台南地區在 1-6 月初始種植時，生長勢較台北及台南地區差。而台北及台南地區全年生長趨勢相似。

(十四)武竹

武竹在台灣三地區全年生長指數呈逐月遞增之勢。三地區中以台北地區最快到達生長良好等級(4 月)，其次為台南地區(6 月)，台中地區則在 8 月過後才上升至良好等級。

(十五)斑葉桔梗蘭

斑葉桔梗蘭在台灣三地區全年生長指數呈逐月遞增之勢。全年生長指數大多位於良好值之上，而三地之間沒有太大的差異。

(十六)馬利筋

馬利筋在台灣三地區全年生長指數有明顯差異。在 5 月過後，台北地區生長勢明顯優於台中及台南地區。台北地區在 5-11 月生長指數逐月上升，在 11 月後稍有下降。台中及台南地區則沒有明顯差異，全年生長指數皆位於中等等級。

(十七)射干

射干在台灣三地區全年生長指數在 7 月之前呈逐月上升之勢，其中台北地區優於台南地區，台南地區優於台中地區。但在 7 月過後三地生長指數陸續有下降的情形，9 月生長指數逐月回升。整體而言，台北地區全年生長勢最佳。

(十八)蜘蛛百合

蜘蛛百合在台灣三地區全年生長指數趨勢相似，均在夏末至初秋之季生長良好。其中台北地區生長指數全年呈現逐月上升之勢；台中及台南地區在 2 月時生長指數稍有下降，2 月過後逐月回升。整體而言，台北地區生長勢最佳，全年皆達良好值之上。

(十九)孤挺花

孤挺花在台灣三地區全年生長指數雖有些微差距，但整體生長趨勢呈逐月上升之勢。其中台北地區在 6-7 月間因為蟲害的關係生長指數下降。整體而言，台南地區全年生長狀況最佳。

(二十)馬纓丹

馬纓丹在台灣三地區全年生長指數趨勢相似，在 1-11 月之間生長指數呈逐月上升之勢，其中台北及台南地區在 11 月過後生長指數略為下降，台中地區則持續上升。三地在夏季過後的生長指數皆達到良好等級。

生長指數(cm)

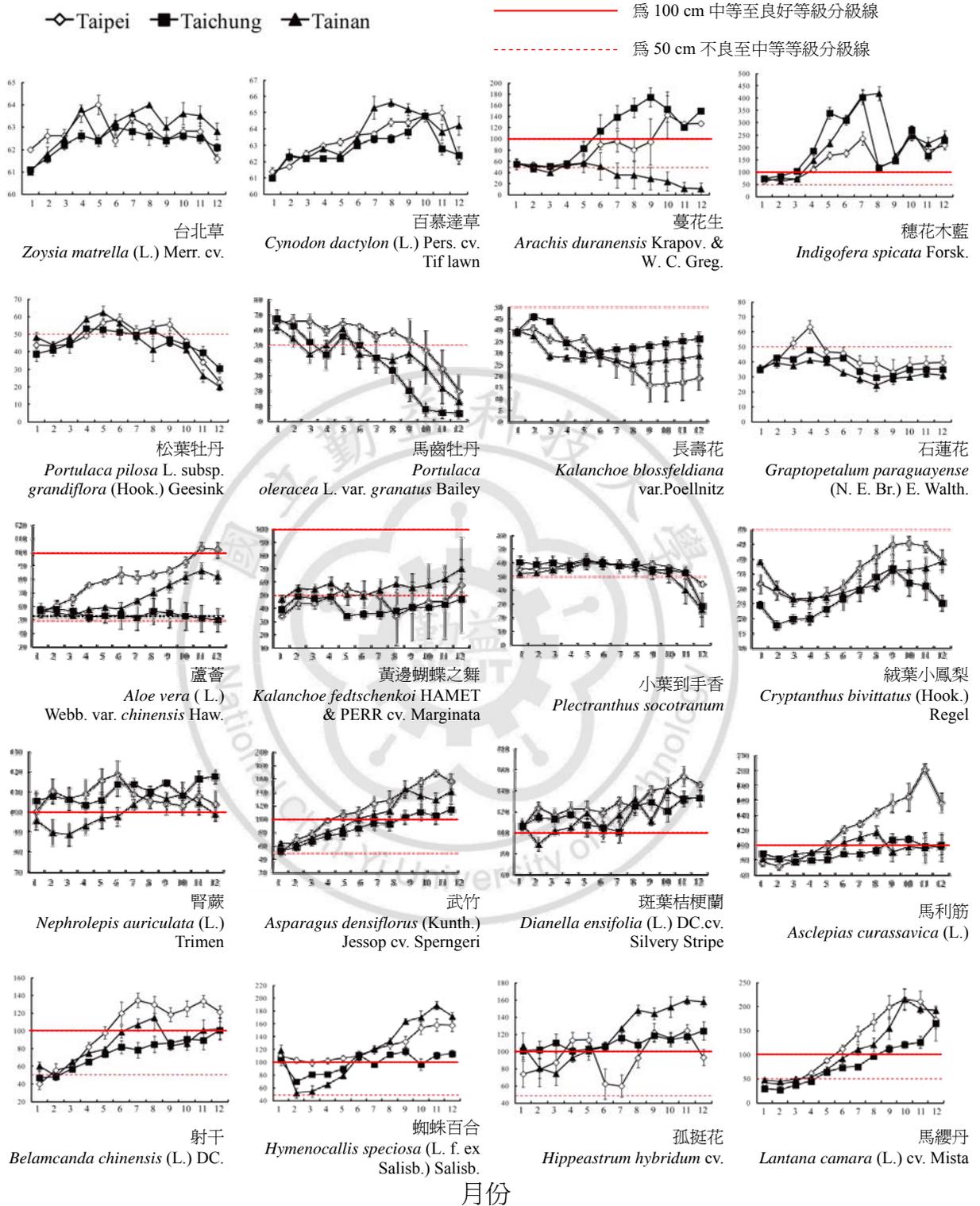


圖 15 二十種植物生長指數折線圖

(資料來源：本研究製圖)

二、覆蓋度統計結果

三地區覆蓋度在試驗最後三個月中，有兩個月(含)以上位於良好等級(覆蓋度 $\geq 66\%$)者為覆蓋度良好的植物。台北地區覆蓋度良好的種類有蔓花生、台北草、馬利筋、腎蕨、武竹、蘆薈、蜘蛛百合、斑葉桔梗蘭、射干、孤挺花、穗花木藍及馬纓丹。在台中地區覆蓋度良好的種類有蔓花生、台北草、腎蕨、武竹、蜘蛛百合、斑葉桔梗蘭、孤挺花、穗花木藍及馬纓丹。在台南地區覆蓋度良好的種類有台北草、腎蕨、武竹、蘆薈、蜘蛛百合、斑葉桔梗蘭、射干、孤挺花、穗花木藍及馬纓丹，各種植物覆蓋度狀況(圖 16)說明如下：

(一)台北草

台北草在台灣三地區 1-10 月期間整體覆蓋度狀況一致。台北地區(最低 88%-最高 95%之間)覆蓋度狀況略優於台中地區(最低 73%-最高 81%之間)及台南地區(最低 71%-最高 80%之間)。其中，在 10 月過後三地區出現乾枯的狀態，覆蓋度逐月下降，台北地區從 91%降至 50%，台中地區從 73%降至 51%，台南地區則沒有劇烈的變化，僅從 71%降至 70%。

(二)百慕達草

百慕達草在台灣三地區 1-8 月期間整體生長狀況穩定，覆蓋度多為良好等級。台北地區(最低 74%-最高 88%之間)全年生長狀況略優於台中地區(最低 70%-最高 78%之間)及台南地區(最低 72%-最高 79%之間)。其中，在 8 月過後三地區覆蓋度逐月下降，台北地區從 79%降至 53%，台中地區從 73%降至 46%，台南地區從

72%降至 20%。台南地區在試驗最後三個月中，有二個月(含)以上位於良好等級(覆蓋度 $\geq 66\%$)，但是台北及台中地區則未達良好等級的標準。

(三)蔓花生

蔓花生在台灣三地區全年覆蓋度差異較大。台北地區 1-6 月覆蓋度狀況逐月上升(最低 11.4%-最高 70.2%)，其中在 8 月時覆蓋度急遽下降(55.6%)，8 月過後逐月回升，至 12 月時覆蓋度已達 100%。台中地區 1-7 月覆蓋度與時間呈正比(最低 23.4%-最高 100%)，至 7 月過後生長穩定，覆蓋度達 100%。台南地區自 5 月起陸續有植株死亡，生長勢逐月下降。台北及台中地區在試驗最後三個月中，有二個月(含)以上位於良好等級(覆蓋度 $\geq 66\%$)，台南地區全年均位於生長不良等級(覆蓋度 $\leq 33\%$)。

(四)穗花木藍

穗花木藍在台灣三地區 4 月過後至 12 月試驗結束，覆蓋度狀況表現一致，覆蓋度皆達到 100%。台北、台中及台南地區在試驗最後三個月中，均有二個月(含)以上位於良好等級(覆蓋度 $\geq 66\%$)。

(五)松葉牡丹

松葉牡丹在台灣三地區整體覆蓋度狀況不良，自 1 月至 5 月覆蓋度逐月緩慢上升，5 月過後逐月下降至試驗結束。其中台北及台南地區在 5 月時覆蓋度達中等(覆蓋度 33-66%)，但隨後即下降至不良。台中地區全年覆蓋度狀況較為平緩。

台北、台中及台南地區在試驗最後三個月中，均未有任一地區超過二個月(含)以上位於良好等級(覆蓋度 $\geq 66\%$)。

(六)馬齒牡丹

馬齒牡丹在台灣三地區全年無明顯差異，但整體覆蓋度趨勢呈逐月下降狀態。三地區在 1-4 月呈逐月下降狀態，其中台北及台南地區在 5 月時覆蓋度稍有上升至中等(台北地區 52.6%、台南地區 46.4%)，但隨後即下降至不良，台中地區 5 月時為不良等級(31.2%)。台北、台中及台南地區在試驗最後三個月中，均未有二個月(含)以上位於良好等級(覆蓋度 $\geq 66\%$)。

(七)長壽花

長壽花在台灣三地區全年覆蓋度狀況皆不良。整體而言，台中地區的覆蓋度狀況稍優於台北及台南地區。其中台中地區在 2 月時覆蓋度有些微上升(25.4%)，但 2 月過後隨即下降，而台北及台南地區則無明顯上升趨勢。台北、台中及台南地區在試驗最後三個月中，均未有二個月(含)以上位於良好等級(覆蓋度 $\geq 66\%$)。

(八)石蓮花

石蓮花在台灣三地區全年覆蓋度狀況皆不良。1-3 月差異不大，3 月過後台北地區覆蓋度狀況稍優於台中及台南地區，在 4 月時達最高覆蓋度(25.6%)，而台中及台南地區覆蓋度相對較低。台北、台中及台南地區在試驗最後三個月中，均未有二個月(含)以上位於良好等級(覆蓋度 $\geq 66\%$)。

(九)蘆薈

蘆薈在台灣三地區全年覆蓋度差異較大。全年覆蓋度狀況皆呈逐月上升之勢，其中台北地區優於台南地區，台南地區優於台中地區。台北地區在 5 月時已達到覆蓋度良好等級(77.4%)，5-7 月間覆蓋度穩定，在 7 月時覆蓋度狀況有些微下降(79.6%)，7 月過後至 12 月止，覆蓋度逐月上升(79%-100%)。台中及台南地區在 1-6 月覆蓋度狀況較為不良，其中台南地區在 6 月過後至 12 月止，覆蓋度狀況逐月上升至良好等級(自 31%上升至 94.2%)僅次於台北地區，而台中地區在 4-10 月覆蓋度狀況雖有些微上升(從 15.4%上升至 35.8%)，但 10 月過後至 12 月止，覆蓋度逐月下降(從 35.8%下降至 32%)。台北及台南地區在試驗最後三個月中，皆有二個月(含)以上位於良好等級(覆蓋度 $\geq 66\%$)。

(十)黃邊蝴蝶之舞

黃邊蝴蝶之舞在台灣三地區全年覆蓋度均呈現逐月上升之勢。其中台北地區覆蓋度狀況最好，在 9 月過後上升幅度最大(從 31.4%到 40%)，而台中及台南地區覆蓋度上升速度較慢。在試驗最後三個月中，均未有任一地區的覆蓋度位於良好等級(覆蓋度 $\geq 66\%$)。

(十一)小葉到手香

小葉到手香在台灣三地區全年覆蓋度趨勢呈倒 U 字形。三地區在 6 月達最高值(台北地區 34%、台中地區 48.6%、台南地區 53.4%)，隨後下降。其中台北地區全年的覆蓋度狀況較台中及台南地區差，且三地區在 10 月過後覆蓋度急遽下降，

至試驗結束時最終覆蓋度狀況落在不良等級(台北地區 4%、台中地區 2%、台南地區 2.6%)。整體而言，小葉到手香在三地區生長最旺盛的時期覆蓋度均無法達到 60%以上。

(十二)絨葉小鳳梨

絨葉小鳳梨在台灣三地區覆蓋度狀況皆不良。三地區均在 7 月過後，覆蓋度有上升的趨勢，其中以台北地區的上升幅度最大(從 7 月 7%到 11 月 28.2%，12 月下降至 21.8%)，而台中及台南地區則差異不大。整體而言，絨葉小鳳梨在試驗最後三個月中，均未有任一地區超過二個月(含)以上位於良好等級(覆蓋度 \geq 66%)。

(十三)腎蕨

腎蕨在台灣三地區覆蓋度成長迅速且穩定。其中以台中地區覆蓋度狀況最好，在 3 月時即達 100%；台北地區次之(5 月覆蓋度達 100%)；台南地區覆蓋度狀況則有些微波動，在 2 月時覆蓋度明顯下降(65.2%)，到 8 月時覆蓋度上升至 100%，隨後在 10 月時，覆蓋度些微下降(89.6%)。在試驗最後三個月中，三地區皆有二個月(含)以上位於良好等級(覆蓋度 \geq 66%)。整體而言，腎蕨在台灣三地區全年覆蓋度皆良好。

(十四)武竹

武竹在台灣三地區春季過後(4 月)覆蓋度成長穩定。三地區至 4 月時，覆蓋度

已達良好等級，其中 4-8 月期間台中地區覆蓋度略低於台北及台南地區，8 月過後三地區覆蓋度狀況良好(台南地區最低 95%、台北地區最高 100%)，沒有太大的差異。在試驗最後三個月中，三地區皆有二個月(含)以上位於良好等級(覆蓋度 \geq 66%)。整體而言武竹在台灣三地區春季過後覆蓋度皆良好。

(十五)斑葉結梗蘭

斑葉桔梗蘭在台灣三地區覆蓋度趨勢呈逐月上升之勢。其中台北地區覆蓋度狀況最好，台中及台南地區在夏季稍有下降的狀況。台北地區 1-4 月覆蓋度逐月上升(38.8%-95.6%)，4 月過後覆蓋度狀況穩定(最低 96.2%最高 100%)。台中地區在 4-7 月覆蓋度呈現逐月下降之勢。台南地區在 2 月及 6 月覆蓋度有稍微下降的狀況。在試驗最後三個月中，三地區皆有二個月(含)以上位於良好等級(覆蓋度 \geq 66%)。

(十六)馬利筋

馬利筋在台灣三地區覆蓋度狀況雖無規律性波動，但各地區有明顯差異。其中在 4 月過後，台北地區明顯優於台中及台南地區。台北地區 1-6 月覆蓋度逐月上升(最低 5.6%最高 83.6%)，7 月、9 月及 12 月覆蓋度都有稍微下降的情形。台中地區全年覆蓋度皆不良，其中在 7-8 月覆蓋度稍有下降，9 月時覆蓋度為全年最高(26.8%)，9 月過後覆蓋度逐月下降。台南地區在 2 月時覆蓋度下降，2 月過後至 7 月覆蓋度逐月上升，8-10 月覆蓋度急遽下降，10-12 月覆蓋度稍有上升。在試驗最後三個月中，僅有台北地區覆蓋度有二個月(含)以上位於良好等級(覆蓋度 \geq 66%)。

(十七)射干

射干在台灣三地區覆蓋度狀況相似，均在夏季生長旺盛，覆蓋度上升，夏末初秋之際，覆蓋度稍有下降之勢。其中以台北地區全年覆蓋度狀況最佳，台南地區次之，台中地區稍差。台北地區從3月起覆蓋度急遽上升，至6月時達最高值(95.2%)，6月過後覆蓋度稍有下降，直至9月過後覆蓋度再度回升。台中地區2月過後覆蓋度稍有上升，至5月時達最高值(28%)，5月過後覆蓋度稍有下降，直至8月覆蓋度稍有回升，但9月時覆蓋度略為下降，9月過後至12月覆蓋度逐月回升。台南地區全年覆蓋度變化趨勢與台中地區相似，但覆蓋度較台中地區高。在試驗最後三個月中，台北及台南地區覆蓋度有二個月(含)以上位於良好等級(覆蓋度 $\geq 66\%$)。

(十八)蜘蛛百合

蜘蛛百合在台灣三地區覆蓋度狀況雖無規律性波動，但各地區有明顯差異，台北地區較台中及台南地區穩定。台北地區全年覆蓋度變化不大(最低 89%最高 100%)。台中地區在2月覆蓋度明顯下降，2-6月逐月回升(24%-91.6%)，7月覆蓋度下降，隨後進入秋季後覆蓋度緩慢回升，直至10月時覆蓋度稍有下降，10月後覆蓋度再度回升。台南地區在2月覆蓋度明顯下降，2-7月逐月回升(7.8%-99.8%)，8月覆蓋度下降，隨後進入秋季後，覆蓋度回升趨於穩定。在試驗最後三個月中，三地區覆蓋度均有二個月(含)以上位於良好等級(覆蓋度 $\geq 66\%$)。

(十九)孤挺花

孤挺花在台灣三地區覆蓋度狀況大多良好，僅有台北地區有明顯差異。台北地區 1-5 覆蓋度逐月上升(43.6%-100%)，在 6 月及 7 月覆蓋度急遽降低，7 月過後逐月回升，至 12 月覆蓋度稍有下降。台中地區全年覆蓋度狀況良好(最低 83.6% 最高 100%)。台南地區在 3 月時覆蓋稍有下降(59%)，3-7 月覆蓋度逐月回升(59%-100%)，7 月過後覆蓋度趨於穩定(100%)。在試驗最後三個月中，三地區覆蓋度均有二個月(含)以上位於良好等級(覆蓋度 \geq 66%)。

(二十)馬纓丹

馬纓丹在台灣三地區自春季過後，覆蓋度狀況皆為良好。台北地區至 5 月時，覆蓋度已達 100%，直至 12 月仍維持 100%覆蓋度。台中地區在 7 月覆蓋度下降，7 月過後覆蓋度恢復穩定，至 12 月覆蓋度稍有下降。台南地區 7 月覆蓋度下降，7 月過後覆蓋度逐月回升。在試驗最後三個月中，三地區覆蓋度均有二個月(含)以上位於良好等級(覆蓋度 \geq 66%)。

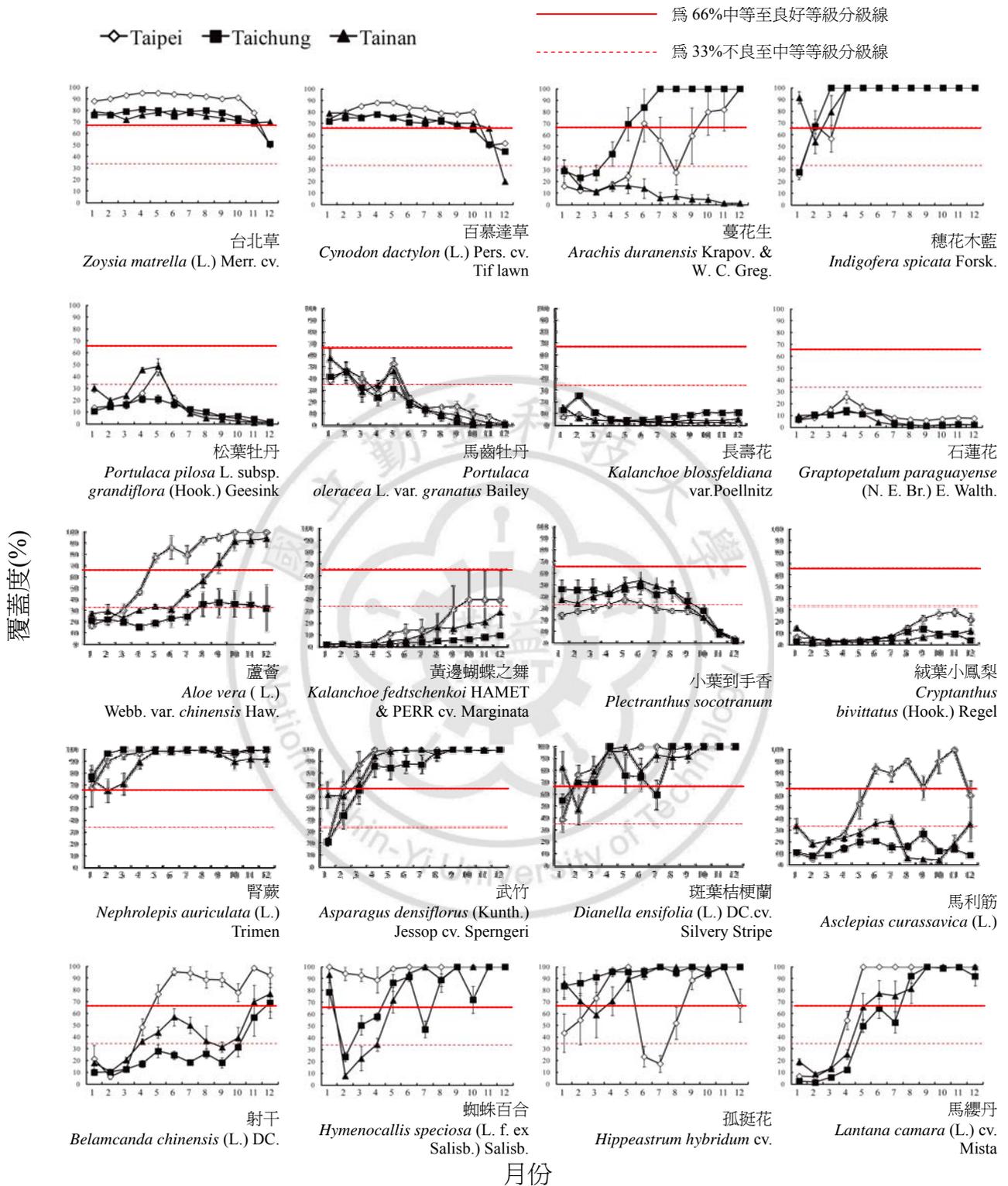


圖 16 二十種植物覆蓋度折線圖

(資料來源：本研究製圖)

三、生長覆蓋度指數統計結果

三地區生長覆蓋度指數在試驗最後三個月中，有兩個月(含)以上位於良好等級(覆蓋度 $\geq 66\%$)者為生長覆蓋度良好的植物。台北地區生長覆蓋度指數良好(生長覆蓋度指數 ≥ 66)的植物有蔓花生、馬利筋、腎蕨、武竹、蘆薈、蜘蛛百合、斑葉桔梗蘭、射干、孤挺花、穗花木蘭及馬纓丹。在台中地區生長覆蓋度指數良好的植物有蔓花生、腎蕨、武竹、蜘蛛百合、斑葉桔梗蘭、孤挺花、穗花木蘭及馬纓丹。在台南地區生長覆蓋度指數良好的植物有腎蕨、武竹、蜘蛛百合、斑葉桔梗蘭、孤挺花、穗花木蘭及馬纓丹，各種植物生長覆蓋度狀況(圖 17)說明如下：

(一)台北草

台北草在台灣三地區全年生長覆蓋度指數趨勢平穩，位於中等等級之間(33-66)。其中台北地區整體趨勢較台中及台南地區佳。三地區自 10 月起至 12 月生長覆蓋趨勢呈逐月下降的狀態，台北地區 10-12 月指數逐月下降(50-25)，台中地區 10-12 月指數逐月下降(40-30)，台南地區 10-12 月指數稍有下降(40-35)，以台北至 12 月止下降幅度最大。

(二)百慕達草

百慕達草在台灣三地區全年生長覆蓋度指數趨勢平穩，位於中等等級之間(33-66)。在 1-10 月台北地區整體趨勢較台中及台南地區佳。8 月過後至 12 月止，三地區生長覆蓋趨勢開始有逐月下降的狀態，台北地區 10-12 月指數稍有下降(40-30)，台中地區 8-12 月生長勢逐月下降(40-25)，台南地區 11-12 月生長勢急遽

下降(35-10)，以台南至 12 月止下降幅度最大。

(三)蔓花生

蔓花生在台灣三地區生長覆蓋指數有較大的差異，台北及台中地區全年呈逐月上升之勢，台南地區則逐月下降。其中台中地區生長覆蓋狀況最為良好，1-9 月指數逐月上升，9-11 月稍有下降，11-12 月迅速回升，在 12 月時達最高值 (100)。台北地區生長覆蓋狀況次於台中地區，1-5 月指數緩慢上升(最低 6.2，最高 12.6)，至 6 月時急遽上升(51.4)，8 月急遽下降(24.8)，8-10 月逐月上升(24.8-76.2)，11 月稍有下降(71.8)，12 月回升(90)。台南地區 1 月時指數最高(17.2)，1-3 月逐月下降(17.2-5.4)，3-6 月逐月上升(5.4-13.2)，6 月過後至 12 月止逐月下降(13.2-1.6)。

(四)穗花木藍

穗花木藍自 4 月過後三地生長覆蓋狀況皆為良好。台北地區 1-2 月指數稍有上升，2-3 月有些微下降，3-6 月急遽上升(34-98)，6-8 月因為該植物生長旺盛，生長範圍已入侵其他植物的生長空間，故於 8 月時強行修剪，導致指數稍有下降，但 8 月過後至 12 月止指數呈逐月上升之勢。

(五)松葉牡丹

松葉牡丹在台灣三地區全年生長覆蓋指數皆位於不良等級(<33)。其中台北及台南地區在 5 月時有明顯上升，5 月過後逐月下降。而台中地區則在 5 月時有些微上升，5 月過後逐月下降。

(六)馬齒牡丹

馬齒牡丹在台灣三地區全年生長覆蓋指數趨勢一致。在 1-4 月呈逐月下降狀態，4-5 月明顯上升，5 月過後逐月下降，其中台北及台南地區在 9 月時有些微上升，隨後至 12 月止逐月下降。

(七)長壽花

長壽花在台灣三地全年生長覆蓋指數趨勢一致，全年皆位於不良狀態。其中台北及台中地區在 2 月時有些微上升，2 月過後逐月下降。而台南地區自 1 月起至 12 月止皆呈逐月下降的狀態。

(八)石蓮花

石蓮花在台灣三地全年生長覆蓋指數趨勢一致，全年皆位於不良狀態。其中三地在 4 月時皆有些微上升的趨勢，4 月過後至 12 月止則逐月下降。

(九)蘆薈

蘆薈在台灣三地區全年生長覆蓋指數呈逐月上升之勢，但三地之間有較大的差異。台北地區 1-11 月指數逐月上升(9.4-76)，11-12 月有些微下降(76-72)。台中地區生長覆蓋狀況平穩，但全年指數皆在不良等級(最低 10，最高 20.4)。台南地區 1-6 月指數平穩，6-11 月指數急遽上升(14.4-59)，11-12 月指數有些微下降。整體而言，台北地區生長覆蓋指數較台中及台南地區佳。

(十)黃邊蝴蝶之舞

黃邊蝴蝶之舞在台灣三地區全年生長覆蓋指數呈逐月上升之勢，但三地指數大多位於不良等級，三地之間有些微差異。台北地區自 4 月起至 12 月止指數皆呈逐月上升之勢。台中地區指數全年變化不大，位於不良等級(最低 2.6，最高 4.8)。台南地區自 4 月起至 12 月止指數逐月緩慢上升。整體而言，台北地區生長覆蓋度指數較台中及台南地區佳。

(十一)小葉到手香

小葉到手香在台灣三地區全年生長覆蓋指數皆位於不良等級。台北地區 1-5 月指數緩慢上升(12.8-19.4)，5-7 月則逐月下降(19.4-11.6)，7-9 月稍有回升(11.6-14.2)，9 月過後至 12 月止指數逐月下降(14.2-3.2)。台中地區 1-6 月指數有些微波動(最低 21，最高 26.4)，6-7 月指數明顯下降(26.4-14.4)，7-8 月稍有回升(14.4-22.8)，8 月過後至 12 月止指數逐月下降(22.8-2.6)。台南地區 1-2 月指數稍有下降(16.8-16)，2-6 月指數逐月上升(16-27.2)，6-8 月有些微波動(最低 15.6，最高 27.2)，8-12 月指數逐月下降(20-2.4)。整體而言，台灣三地生長覆蓋指數皆差。

(十二)絨葉小鳳梨

絨葉小鳳梨在台灣三地區全年生長覆蓋指數趨勢一致，皆位於不良等級。台北地區在 1-4 月指數成逐月下降之勢(3-2.2)，4-11 月之間指數逐月上升(2.2-11.2)，11 月過後至 12 月則有些微下降(11.2-9.2)。台中地區 1-5 月指數呈逐月下降之勢(2-1.8)，5-9 月指數逐月上升(1.8-6.4)，9 月過後至 12 月止指數逐月下降(6.4-1.8)。

台南地區 1-5 月指數逐月下降(6-2)，5 月過後至 12 月止指數逐月上升(2-5.2)。整體而言，台北地區略優於台中及台南地區，但全年指數皆位於不良等級。

(十三)腎蕨

腎蕨在台灣三地區全年生長覆蓋指數平穩，除台南地區之外，全年指數大多位於良好等級。台北地區 1-6 月指數逐月上升(55-84)，6-10 月指數逐月下降(84-70.8)，10-11 月指數稍有回升(70.8-78)，11 月過後至 12 月止指數稍有下降(78-74)。台中地區 1-3 月指數逐月上升(61.6-76)，3-4 月指數稍有下降(76-74)，4-7 月指數逐月上升(74-82)，7-10 月有些微波動(最低 74.8，最高 82)，10-12 月指數逐月上升(74.8-84)。台南地區 1-3 月指數逐月下降(54.8-47)，3-5 月指數逐月上升(47-70)，5-6 月指數稍有下降(70-68.6)，6-8 月指數逐月上升(68.6-78)，8-12 月指數逐月下降(78-66.4)。整體而言，腎蕨在台灣三地區生長覆蓋指數良好。

(十四)武竹

武竹在台灣三地區全年生長覆蓋指數呈逐月上升之勢。台北地區指數明顯優於台南地區，台南地區優於台中地區，其中台北地區在 4 月時已達良好等級，台中地區在 8 月時才達良好等級，台南則在 6 月達良好等級。

(十五)斑葉結梗蘭

斑葉結梗蘭在台灣三地區全年生長覆蓋指數呈逐月上升之勢，但三地之間變化較大。台北地區 1-3 月有較大幅度的波動(最低 33，最高 72.6)，3-5 月指數逐月

上升(71.6-84.6)，5-10 月有些微波動(最低 84，最高 96)，10-12 月指數逐月上升(94-100)。台中地區 1-4 月有較大幅度的波動(最低 44.8，最高 84)，4-7 月指數逐月下降(84-40)，7-9 月指數逐月上升(40-92)，9-10 月指數稍有下降(92-84)，10-12 月指數逐月上升(84-92)。台南地區 1-2 月指數稍有下降(66.8-35.6)，2-5 月指數逐月上升(35.6-82)，5-6 月指數急遽下降(82-60.2)，6-8 月指數逐月上升(60.2-85.2)，8-10 月有些微波動(最低 70.4，最高 98)，10-12 月指數逐月下降(98-90)。整體而言，台北地區生長覆蓋度指數略優於台中及台南地區。

(十六)馬利筋

馬利筋在台灣三地區全年生長覆蓋指數有明顯差異，台北地區優於台中及台南地區。台北地區 1-2 月指數稍有下降(7-5.2)，2-8 月指數逐月回升(5.2-92)，在 6 月時達良好等級，9 月指數稍有下降(69)，9-11 月指數逐月回升(69-100)，11-12 月指數急遽下降(100-64)。台中及台南地區全年指數皆位於不良等級，其中台南在 2-7 月指數逐月上升，在 7 月時上升至中等等級(34.4)，7-10 月指數下降(34.4-7.2)，10-12 月指數回升(7.2-32.8)。

(十七)射干

射干在台灣三地區全年生長覆蓋指數有明顯差異，台北地區優於台中及台南地區。台北地區 1-2 月指數稍有下降(10.4-5.4)，2-7 月指數逐月上升(5.4-90.8)，6 月時達良好等級(80.8)，7-10 月指數逐月下降(90.8-70)，10-12 月有些微波動(最低 70，最高 92)。台中地區 1-2 月指數稍有下降(6.2-5.6)，2-5 月指數逐月上升(5.6-18)，5-7 月指數逐月下降(18-13)，7-9 月有些微波動(最低 13-最高 17.2)，9-12 月指數逐

月上升(15-56.4)。台南地區 1-2 月指數稍有下降(10.4-4.6)，2-6 月指數逐月上升(4.6-42)，6-9 月指數逐月下降(42-20.2)，9-12 月指數逐月上升(20.2-62.2)。整體而言，台北地區生長覆蓋指數表現較台中地區佳，而台南地區較台中地區佳。

(十八)蜘蛛百合

蜘蛛百合在台灣三地區全年生長覆蓋指數有明顯差異，台北地區呈逐月上升之勢，全年皆位於良好等級，而台中及台南地區則波動較大。台北地區 1-3 月指數逐月下降(76-67.6)，3-12 月指數逐月上升(67.6-98)。台中地區 1-2 月指數急遽下降(60-1.4)，2-6 月指數逐月上升(14.4-76.8)，6-7 月指數急遽下降(76.8-37.8)，7-9 月指數逐月回升(37.8-84)，9-10 月指數急遽下降(84-54.4)，10-12 月指數逐月回升(54.4-80)。台南地區 1-2 月指數急遽下降(80.4-5.8)，2-7 月指數逐月回升(5.8-86)，7-8 月指數稍有下降(86-84)，8-9 月指數逐月回升(84-100)，9 月過後至 12 月期間生長穩定(100)。

(十九)孤挺花

孤挺花在台灣三地區全年生長覆蓋指數有明顯差異，其中台中地區全年指數較台北及台南地區穩定。台北地區 1-5 月指數逐月上升(30.8-80)，5-8 月較大幅度的波動(最低 40-最高 100)，8-11 月指數逐月上升(40-88)，11-12 月指數急遽下降(88-50)。台中地區 1-3 月指數逐月上升(62.4-72.6)，3-4 月指數稍有下降(72.6-70.4)，4-7 月指數逐月上升(70.4-100)，7-10 月指數有些微波動(最低 76.8，最高 100)，10-12 月指數逐月上升(77-84)。台南地區台南 1-3 月指數逐月下降(69.2-41.4)，3-7 月指數逐月回升(41.4-100)，7-10 月指數逐月下降(100-96)，10-12 月指數逐月回升

(96-100)。

(二十)馬纓丹

馬纓丹在台灣三地區全年生長覆蓋指數呈逐月上升之勢。台北地區指數明顯優於台南地區，台南地區優於台中地區。台北地區 1-12 月指數逐月上升(3-100)。台中 1-2 月指數稍有下降(2.4-2.2)，2-6 月指數逐月上升(2.2-37.4)，6-7 月指數稍有下降(37.4-22.4)，7-10 月指數逐月回升(22.4-88)，10-12 月有些微波動(最低 84，最高 88)。台南 1-2 月指數稍有下降(8.4-5.2)，2-12 月指數逐月回升(5.2-100)。

小結：

綜合上述結果，統計出在台灣三地區生長指數、覆蓋度及生長覆蓋度指數皆達良好等級的植物有腎蕨、武竹、蜘蛛百合、斑葉結梗蘭、孤挺花、穗花木藍及馬纓丹。

生長覆蓋度指數

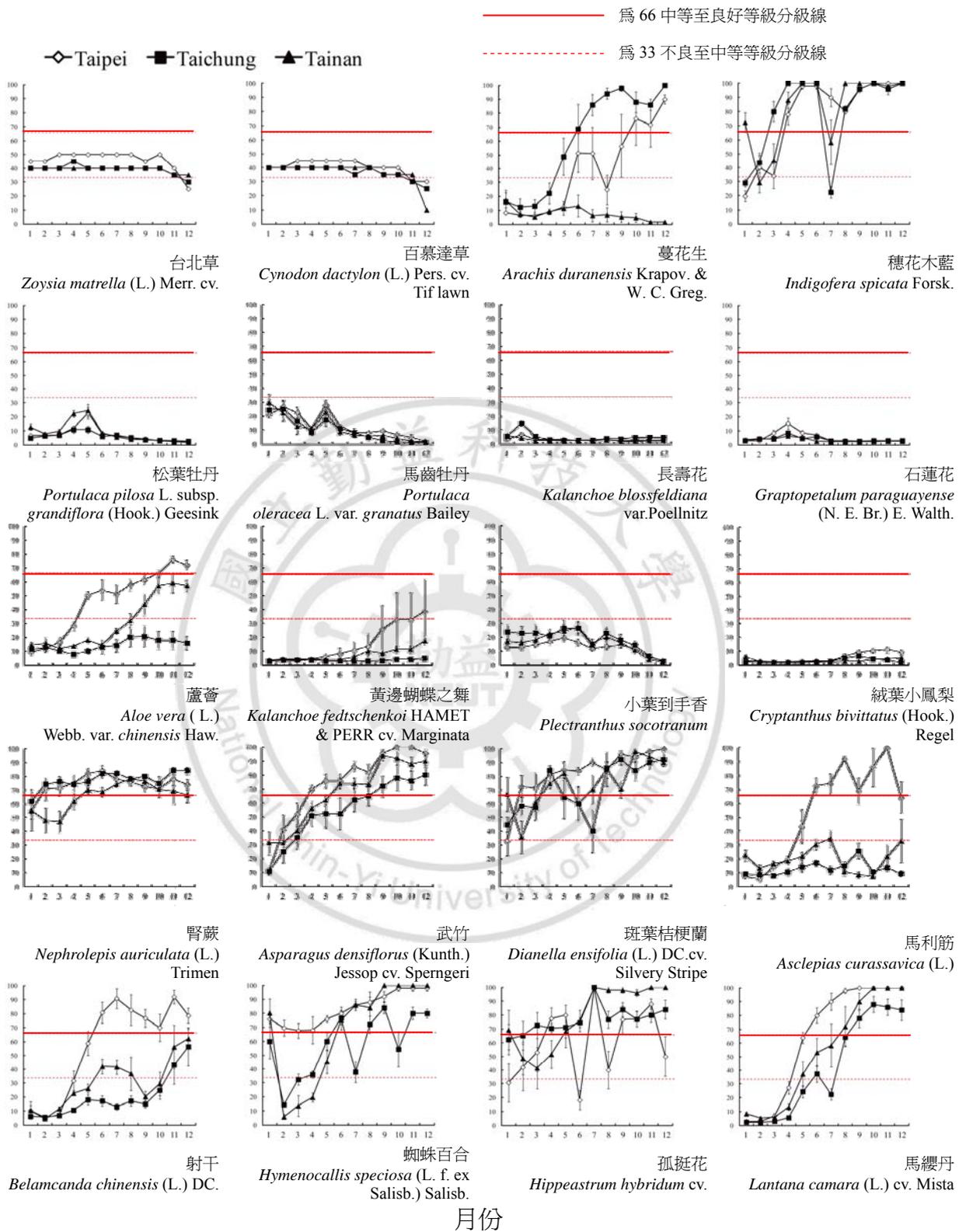


圖 17 二十種植物生長覆蓋度折線圖

(資料來源：本研究製圖)

第二節 灌溉水量及頻率

試驗期間台北地區共計灌溉 22 次(總灌溉水量為 3,168 L，相當 528 mm 降雨量)、台中地區 42 次(總灌溉水量為 6,048 L，相當 1,008 mm 降雨量)、台南地區 45 次(總灌溉水量為 6,480 L，相當 1,080 mm 降雨量)(表 9)。

台灣三地區各季灌溉頻率，台北地區春季約 23 天灌溉一次，夏季約 9 天，秋季約 11 天，冬季無需灌溉。台中地區春季約 10 天灌溉一次，夏季約 5 天，秋季約 9 天，冬季約 23 天。台南地區春季約 7 天灌溉一次，夏季約 6 天，秋季約 8 天，冬季約 15 天(表 9)。

台灣三地年平均灌溉頻率，台北地區約 17 天灌溉一次、台中地區約 9 天灌溉一次、台南地區約 8 天灌溉一次(表 9)。

從各地降雨量及灌溉量累計圖(圖 18)得知，台北地區大約在仲夏至初秋之際(7-9 月)需要較大量的灌溉，而其他季節灌溉量相對較少。台中及台南地區均在夏季(6-8 月)需要灌溉的水量較多，但從灌溉量及雨量的比例可知，在夏季(6-8 月)無論降雨多寡，各月需要灌溉的水量皆差異不大。另外，台南地區在冬季至春末之際(12-5 月)幾乎沒有降雨，需以灌溉方式補充土壤水分。

表 9 台北、台中及台南薄層屋頂綠化灌溉頻率統計表

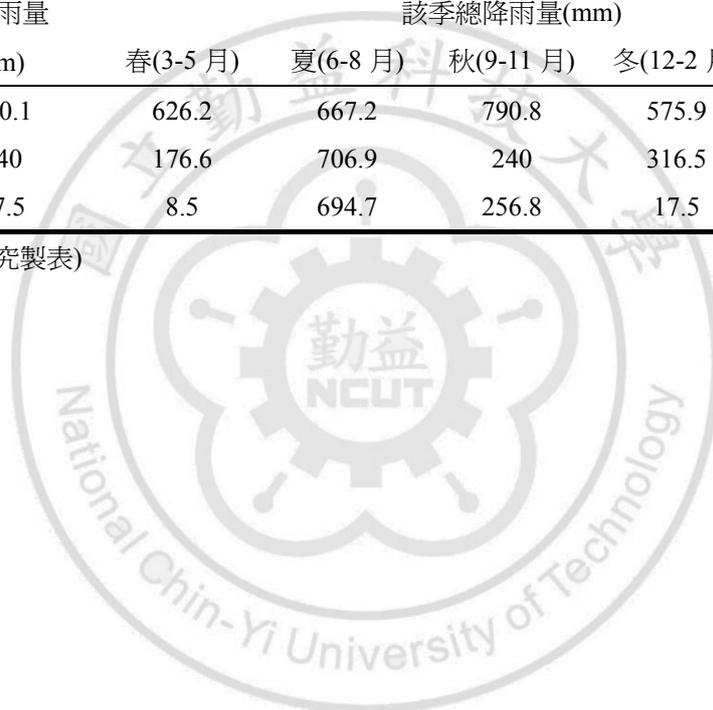
地區	灌溉次數 (次/年)	總灌溉量 (L/mm)	灌溉間隔天數 / 該季總灌溉量(mm)				年平均 (天數)
			春(3-5 月)	夏(6-8 月)	秋(9-11 月)	冬(12-2 月)	
台北	22	3168 / 528	23 / 96	9 / 240	11 / 192	90 / 0	17
台中	42	6048 / 1008	10 / 216	5 / 456	9 / 240	23 / 96	9
台南	45	6480 / 1080	7 / 312	6 / 360	8 / 264	15 / 144	8

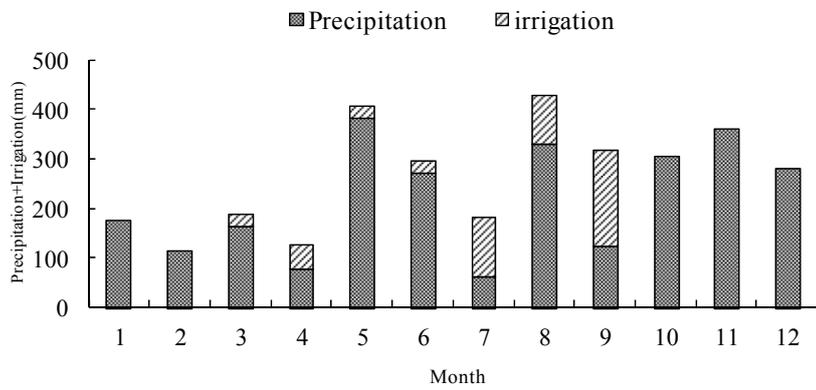
(資料來源：本研究製表)

表 10 台北、台中及台南地區降雨量統計表

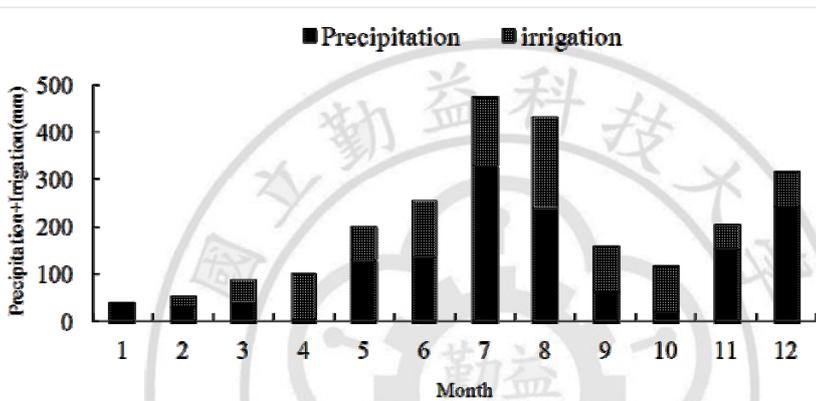
地區	總降雨量 (mm)	該季總降雨量(mm)				年平均
		春(3-5 月)	夏(6-8 月)	秋(9-11 月)	冬(12-2 月)	
台北	2660.1	626.2	667.2	790.8	575.9	221.7
台中	1440	176.6	706.9	240	316.5	120
台南	977.5	8.5	694.7	256.8	17.5	81.5

(資料來源：本研究製表)

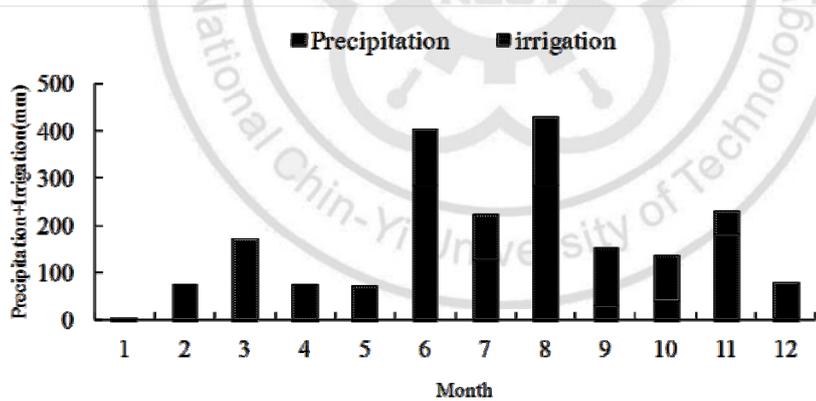




(a)台北地區



(b)台中地區



(c)台南地區

圖 18 台北、台中及台南三地降雨量及薄層屋頂綠化灌溉水量累計直條圖
(資料來源：本研究繪製)

第五章 討論

本研究旨在討論台灣三個地區的薄層屋頂綠化植栽選種及灌溉量之建議。以試驗法在三個地區實設植栽槽進行試驗，一為討論二十種植物在台灣三個地區的生長狀況，植物評估的方法為生長指數、覆蓋度及生長覆蓋度指數；二為探討薄層屋頂綠化在三個地區所需的灌溉水量及頻率，測量的方法為監測土壤水分張力以判定是否需進行灌溉。討論內容如下：

第一節 植物生長狀況

本研究以三種評估法判別植物生長狀況，生長指數代表植物的外型大小；覆蓋度代表植物的茂密程度；生長覆蓋度指數乃代表植物的外型大小及茂密程度，為簡易的綜合評估指標。從覆蓋度、生長指數或生長覆蓋度指數的角度分析，腎蕨、武竹、蜘蛛百合、斑葉桔梗蘭、孤挺花、穗花木蘭及馬纓丹都是生長良好的植物，且在台灣台北、台中及台南皆為能生長良好，乃是台灣地區屋頂綠化中的潛力植物。

雖然透過上述三種方法來評估植物的生長狀態皆有相似的結果，能選出高大茂密的植物，顯示三種方法皆為可行的評估法。但是不同種類的植物受本身生長形態的限制，若將所有種類的植物一起評估，可能會排除一些可能適生的植物，因此本研究以試驗植物的類型分類討論，得知每種植物類型在台灣三地區的生長情形，由後續研究者或設計師選擇適用的植物。

一、二十種植物生長狀況

(一)台北草

台北草全年覆蓋度均為良好，但受限於生長高度，因此生長覆蓋度指數評估模式中，整體表現落在中等等級。從生長指數及覆蓋度分析中可知，台北草在台灣三地區春末至夏初之際生長狀況較為良好，而冬季生長狀況較差，可能因為台北草原產於熱帶亞洲，生育適溫 22-30°C 之間(薛聰賢，2003)，因此在冬季容易有乾枯現象。就台灣三個地區而言，台北草在台北地區全年生長覆蓋度指數較佳，可能因為台北地區全年雨量較為平均的關係。

(二)百慕達草

百慕達草生長覆蓋度指數因為受限於植栽生長高度影響，整體表現落在中等等級。從生長指數及覆蓋度分析中可知，百慕達草在台灣三地區秋末至初冬之際生長指數較為良好(匍匐莖發達)，而冬季生長緩慢，因為百慕達草原產於溫帶至熱帶地區，生育適溫 22-32°C 之間(蔡福貴，1993)，可能因為台灣地區冬季過冷而導致該植物乾燥枯萎。就台灣三個地區而言，百慕達草在台北地區全年生長覆蓋度指數較佳，可能因為台北地區全年雨量較為平均的關係。

(三)蔓花生

蔓花生為蔓性植物，雖然生長高度不高，但是其水平生長尺度大，可彌補植株低矮的特性，分別在三種評估方法中均有良好的表現。從生長指數及覆蓋度分

析中可知，該植物全年生長狀況呈現逐月遞增之勢，至 12 月試驗結束時，生長最爲良好。蔓花生原產於南美洲，性喜高溫多溼(薛聰賢，2002⁶)，故該植物在雨量較多的台北及台中地區生長狀況皆爲良好，而台南地區可能因爲高溫但雨量較少，因此生長不良。此外夏季至初冬可能因爲氣候高溫多溼，故生長覆蓋度指數逐月遞增，而冬季氣候較爲溼冷，因此生長較緩慢。

(四)穗花木藍

穗花木藍在春季過後覆蓋度及生長指數即達良好等級，因此在生長覆蓋度指數亦呈現良好的狀態。從生長指數及覆蓋度分析中可知，該植物自初春起生長狀況逐月遞增，至 12 月試驗結束時生長狀況達最良好狀態，可能因爲穗花木藍主要分佈在中國大陸南部，性喜高溫溼潤或乾燥之地(薛聰賢，1998^c；薛聰賢，2003)，與台灣氣候相似，因此幾乎全年皆生長良好。其中，生長覆蓋度指數在 7-8 月於三地有些微波動是因爲該植物在 7 月時因生長過於旺盛，匍匐莖已蔓延至其他植物生長空間，恐侵犯其他植物生長，因此在 7 月測量數據後，修剪至該植物栽培空間內所致。就台灣三個地區而言，穗花木藍在台南地區生長覆蓋度指數最爲良好，推測可能因爲台南地區全年溫度較台北及台中地區高，灌溉量也較台北及台中地區多所致。

(五)松葉牡丹

松葉牡丹屬於低矮的多肉植物，生長高度受限，生長指數相對較低，且多肉植物具有耐乾旱的特性，而本研究調配的介質對於該類植物而言，可能過於保水且灌溉可能過於頻繁，導致生長不佳，故該植物的生長覆蓋度指數均未能有良好

的表現。就台灣三個地區而言，松葉牡丹在台南地區生長覆蓋度指數優於台北及台中地區，可能因為台南地區常年較乾熱的關係。

(六)馬齒牡丹

馬齒牡丹因為植株高度低矮，生長高度受限，故全年生長指數及覆蓋度多位於不良等級。馬齒牡丹性喜高溫耐旱，栽培介質以排水良好、疏鬆肥沃之砂質壤土為佳，而本研究使用的介質保水性對於該種植物而言過高，且灌溉量對於該植物而言可能過於頻繁，故生長狀況差。整體而言，松葉牡丹在台灣三個地區的生長覆蓋度沒有明顯差異。

(七)長壽花

長壽花植株低矮且生長幅度變化不大，故全年生長指數多位於不良等級，但當該植物開花時，花朵茂密，有一定程度的覆蓋效果。長壽花性耐乾旱，排水力求良好，矮性品種夏季呈半休眠狀態(薛聰賢，2002^a)，因此在夏季高溫、多雨及多灌溉的環境中，生長不良。就台灣三個地區而言，長壽花較不適應台北地區多雨的氣候，而在台中地區的生長狀況略優於台南地區，因為台中地區夏季溫度較台南地區低，雨量也不及台北地區多的關係。

(八)石蓮花

石蓮花屬於低矮型的植物，且葉片多肉具有耐乾旱之特性，本研究調配的介質對於該類植物而言，可能過於保水且灌溉可能過於頻繁，導致生長不佳，因此

台灣三地區生長覆蓋度指數均未能有良好的表現。從生長指數及覆蓋度分析中可知，石蓮花在春季生長最為良好，夏季最差，可能因為石蓮花生性耐旱，排水務求良好，排水不良或培養土長期潮溼，容易導致腐爛，且平時灌水不可太勤(薛聰賢，2002^a)，因此該植物在水分較適中的春季生長較好，而夏季的雨量及灌溉水量對於石蓮花而言可能過多導致生長不良。就台灣三個地區而言，石蓮花在台灣三個地區生長覆蓋度指數皆不佳。但從野外觀察可發現該植物在缺乏維護管理的花盆中生長狀態良好，可見該植物仍有潛力適生於薄層介質且乾旱的屋頂綠化中，建議可調整栽種介質配比及灌溉方式，應能有較佳的表現。

(九)蘆薈

蘆薈在各地區生長穩定，植株外型變化不大，故生長指數及覆蓋度趨勢一致，生長覆蓋度指數亦同於上述兩種評估法。蘆薈在台北地區生長最佳，可能因為蘆薈原產於印度，性強健，耐乾旱，生長期宜稍溼，喜暖熱乾燥的環境，但不耐寒(費硯良、張金政，1999)，而台北地區雨量較為平均，所以整體而言以台北地區生長最佳。另外，台南地區的生長狀況優於台中地區，可能因為台南地區在夏季過後溼暖的氣候較利於蘆薈生長，故生長較台中良好。

(十)黃邊蝴蝶之舞

黃邊蝴蝶之舞屬於緩慢生長型的植栽，在台中及台南地區全年變化較小，在台北地區最佳，可能因為台北地區雨量較為平均的關係。

(十一)小葉到手香

小葉到手香屬於低莖植物，因為生長高度有限，全年生長指數大多維持在中等等級，且該植物因為葉片小且生長速度慢，全年覆蓋度變化小全年皆位於不良等級，在生長覆蓋度指數計算之下，三地區之間均未能有良好的表現。

(十二)絨葉小鳳梨

絨葉小鳳梨全年生長覆蓋度指數皆位於不良等級，可能因為該植物生長幅度小，且適於種植在略有遮陰的環境(王銘琪，1997)，而屋頂上氣候狀況對於該植物而言太過變化劇烈導致生長不佳。就台灣三個地區而言，絨葉小鳳梨並不適合做為薄層屋頂綠化的植栽材料，因為該植物外型小且全年覆蓋度低，未能達到良好的環境效益。

(十三)腎蕨

腎蕨屬於高莖植物且全年枝葉茂密，故在台灣三地區全年生長指數覆蓋度大多位於良好值之上。從生長指數及覆蓋度可知，該植物在台灣三地區初始生長時期(冬末至春季)表現較差，後來漸漸適應後，生長越來越旺盛。因為該植物分佈熱帶至亞熱帶地區，性喜高溫多溼，耐陰、耐旱、耐溼、耐強光，喜好空氣溼度高的環境(薛聰賢，2003)，因此在高溫多濕的夏季至秋季之間生長良好。整體而言，腎蕨耐候性佳、生長高大茂密為薄層屋頂綠化適生植物種類。

(十四)武竹

武竹常年枝葉茂密，因此覆蓋度大多於良好值之上，而生長指數是隨時間增

加而遞增，故在生長覆蓋度指數亦為良好。武竹性喜冷涼氣候，需多水分與養分使能生長良好(蔡振聰、吳純寬，1992)，因此武竹在多雨、較低溫的台北地區生長特別良好。就台灣三個地區而言，武竹在三個地區全年皆生長良好，為薄層屋頂綠化之優勢植物。

(十五)斑葉結梗蘭

斑葉桔梗蘭因生長指數與覆蓋度全年趨勢相似，因此在生長覆蓋度指數模式中，表現並無太大的差異，生長覆蓋度指數落在中等至良好等級之間，全年大致呈現逐月遞增之勢。整體而言，該植物全年生長狀況均為良好，應能適應台灣三地區之氣候，為薄層屋頂綠化之優勢植物。

(十六)馬利筋

馬利筋因生長指數與覆蓋度全年趨勢相似，因此在生長覆蓋度指數模式中，表現並無太大的差異。可能因為台北地區雨量較為平均的關係，生長覆蓋度指數呈現台北地區較高，台中及台南地區較低的狀態。從生長指數及覆蓋度可知，馬利筋在夏末雨季過後生長勢較佳，冬末初春雨量較少且氣溫較低生長勢較差，而覆蓋度僅有台北地區較高，因為台中及台南地區均受過蟲害所致。就台灣三個地區而言，馬利筋較適合種植於台北地區。

(十七)射干

射干生長覆蓋度指數呈現台北地區較高，台中及台南地區較低的狀態，可能

因為台北地區雨量較為平均之故。從地理區位而言，因為射干原產中國及日本(費硯良、張金政，1999)，台北的緯度較接近原產地，因此生長較為良好。另外，從生長指數及覆蓋度可知，射干屬於漸進式適應的類型，初始種植時可能因為植株較小，易受氣候影響，生長勢較不佳，但在夏季快速成長後，植株較為強健，生長勢越來越好。整體而言，射干在台灣三個地區皆生長良好，為薄層屋頂綠化之優勢植物。

(十八)蜘蛛百合

蜘蛛百合在台中及台南地區曾受病蟲害影響，生長覆蓋度指數波動較為明顯。其中台北地區生長覆蓋度指數明顯優於台中及台南地區，可能因為台北地區雨量較為平均的關係。從生長指數及覆蓋度可知，蜘蛛百合在台南地區夏季生長亦良好，因為蜘蛛百合性喜高溫多溼，夏季為生育盛期(薛聰賢，2002^a)，但冬季可能因為有明顯乾季而生長緩慢。整體而言，蜘蛛百合在台灣三個地區皆適合種植。

(十九)孤挺花

孤挺花在台中及台南地區皆生長良好，台北地區曾受病蟲害影響，故生長覆蓋度指數有顯著波動。孤挺花原產於墨西哥，性喜溫暖至高溫，耐旱也耐溼(薛聰賢，2002^a)，故在溫度較高的台南地區生長最為良好。整體而言，孤挺花在台灣三地全年生長覆蓋度指數表現多落在良好等級，為薄層屋頂綠化之優勢植物。

(二十)馬纓丹

馬纓丹在多雨的台北地區生長最為良好，而台中及台南地區亦有明顯雨季，故該植物在台灣三地生長皆為良好。馬纓丹為馴化種，適應台灣氣候且為灌木，枝葉較為茂密強健，因此在台灣三地皆可生長良好。整體而言，馬纓丹全年生長覆蓋度指數呈逐月上升之勢，表示該植物逐漸適應屋頂上的環境，為薄層屋頂綠化之優勢植物。

本研究以三種植物評估法作一綜合討論 (表 11)，台北、台中及台南三地生長指數、覆蓋度及生長覆蓋度指數於試驗最後三個月中，有兩個月(含)以上位於良好等級的植物有腎蕨、武竹、蜘蛛百合、斑葉桔梗蘭、孤挺花、穗花木藍及馬纓丹。其中在三地區評估結果有差異的植物包含蔓花生、馬利筋、蘆薈及射干。蔓花生於台中及台北地區生長較良好，因為台南地區曾受雜草入侵的關係，目標植物生長勢衰弱所致。馬利筋及蘆薈於台北地區可能因為雨量較為平均，故生長良好。射干於台北地區生長狀況良好，因為台北地區的氣候條件與射干原生地相似，故生長良好。

另外，在三種評估方法中，評估結果有差異的植物包含馬利筋、蘆薈、射干及台北草。馬利筋在台中僅生長指數達良好狀態，顯示馬利筋在台中有徒長的情形。蘆薈在台南僅覆蓋度達良好狀態，生長指數及生長覆蓋度指數僅為中等，顯示蘆薈在台南地區是以水平生長為主。射干在台南地區以覆蓋度及生長指數達良好狀態，因為該地區的覆蓋度及生長指數介於中等至良好等級之間，在生長覆蓋度指數計算模式中僅落於中等等級。台北草於三地覆蓋度皆為良好，但是因為草皮生長高度僅限於 3-5cm，故生長指數較低，導致生長覆蓋度指數未達良好等級。

表 11 台北、台中及台南地區植物生長狀況表

地區	評估法	蔓花生	穗花木藍	馬利筋	腎蕨	武竹	蘆薈	斑葉桔梗蘭	蜘蛛百合	孤挺花	射干	馬纓丹	台北草	百慕達草	松葉牡丹	馬齒牡丹	長壽花	石蓮花	黃邊蝴蝶之舞	小葉到手香	絨葉小鳳梨
台北	G	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●									
	C	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●								
	GC	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●								
台中	G	●	●	●	●	●		●	●	●		●									
	C	●	●		●	●		●	●	●		●									
	GC	●	●		●	●		●	●	●		●									
台南	G		●		●	●		●	●	●	●	●									
	C		●		●	●	●	●	●	●	●	●	●								
	GC		●		●	●	●	●	●	●	●	●	●								

“G”生長指數 Growth index

“C”覆蓋度 Coverage ratio

“GC”生長覆蓋度指數 Growth index* Coverage ratio

“●”生長良好

(資料來源：本研究製表)

無論從生長指數、覆蓋度、生長覆蓋度指數及生長覆蓋度指數分析中，本研究發現，多數植物在台北地區生長狀況較台中及台南地區良好，因此本研究分別將三地區二十種植物的生長覆蓋度指數取平均值，作一比較(圖 19)，可以明確得知在 4 月過後台北地區植物的生長覆蓋度指數皆高於台中及台南地區，可能是因為台北雨量較為平均的關係。另外，還可得知三地區全年生長覆蓋度指數大致上呈逐月遞增之勢，可知植物在薄層屋頂綠化上已漸漸適應環境而生長狀況趨於平穩。

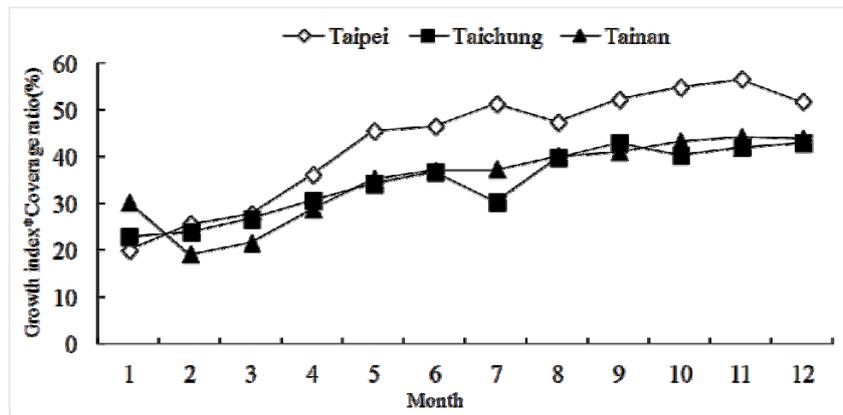


圖 19 台北、台中及台南地區二十種植物生長覆蓋度指數趨勢圖
(資料來源：本研究製圖)

二、五類植物生長狀況

(一)草皮類

在兩種草皮類植物中，其覆蓋度皆為良好。其中台北草在春末至夏初之際生長指數狀況較為良好，以種植在台北地區最為良好，而百慕達草在秋末至初冬之際生長指數較為良好，春季覆蓋度較為良好，以種植在台北地區最為良好，可能是因為草皮類需水高，在多雨的台北地區生長較良好。其中，根據試驗觀察百慕達草容易有雜草入侵，因此需要定時作維護管理。而草皮類植物在冬季時有乾枯的情形，可能因為這兩種草類原產於熱帶地區，因此較不耐寒的關係。整體而言，雖然草皮類植物生長高度受限，但覆蓋度表現良好，因此若需要快速綠化，草類植物為較佳的選擇。

(二)蔓性植物

在兩種蔓性植物中，穗花木藍全年生長狀況較蔓花生良好。穗花木藍自初春起生長狀況良好，覆蓋度高，但莖具匍匐性，生長快速，若與其他植物混種，需定期修剪維護。整體而言，以種植在台南地區最為良好。而蔓花生在夏季至初冬生長狀況佳，冬季生長緩慢，莖具匍匐性，亦需定期修剪維護，但生長速度不及穗花木藍，覆蓋度亦較低，以種植在台北及台中地區最為良好。這兩種蔓性植物均為豆科植物，生性強健、具蔓生及耐高溫等特性，在薄層屋頂綠化上為優勢植物，唯蔓花生在未生長旺盛之前需清除雜草，以免雜草侵害目標植物生長。

(三)多肉植物

在六種多肉植物中，蘆薈及黃邊蝴蝶之舞生長狀況最好。蘆薈生長指數及覆蓋度在一年之間變化較小，植株強健，唯夏季較不耐暴雨，有些微腐莖現象；冬季較不耐寒，植株生長停滯，稍有枯萎情形。黃邊蝴蝶之舞屬於緩慢適應氣候的類型，至時驗結束時，生長最為旺盛。該植物耐旱、耐溼潤且耐寒，若能增加介質排水力，生長狀況應更良好。松葉牡丹在春末至夏初生長良好，夏季高溫多雨，使其莖葉腐爛枯萎。馬齒牡丹夏季生長較為良好，若能提高介質排水力，生長狀況應更良好。長壽花夏季呈半休眠狀態，高溫多雨高灌溉，易使其莖葉腐爛枯萎。石蓮花則可能因為介質保水性太高使其爛根，生長勢衰弱。

根據溫帶地區國家的研究，發現該地區雨量較少(年雨量約 500 mm)，對於多肉植物而言，水份適中故生長勢佳。也因為多肉植物需水較少，就薄層屋頂綠化長期維護管理角度而言，多肉植物為省水耐旱的優勢植物。本研究試驗的多肉植

物生長不良，但是在野外觀察無人管理的荒地或陽台中，多肉植物都能生長良好，可見多肉植物在生育環境惡劣的屋頂上仍有生長的潛力。可能是本研究的介質對於多肉植物而言其保水性太高導致多肉植物生長不良。因此建議未來的研究可採用排水力較佳的介質、使用無蓄水功能的排水板並減少灌溉量等方式訂出最適多肉植物生長的種植原則。

本研究發現多肉植物生長較慢，但從野外觀察得知其耐受性高，若可成功種植於薄層屋頂綠化上，該植物具備耐旱及低維護管理等特性為薄層屋頂綠化的潛力植物。而且多肉植物植株多為低矮，在本研究中以生長指數、覆蓋度及生長覆蓋度指數與其他種類植物一起評估，不一定能被篩選出來。故建議薄層屋頂綠化上種植多肉植物時，應考量適合的介質及灌溉方式。在植物篩選方面，應以同類型植物作個別評估。

(四)低莖植物

在 4 種低莖植物中，腎蕨及武竹生長狀況最好。因為這兩種植物生性耐熱也耐溼，喜好潮溼環境，因此無論雨季乾季皆生長良好，尤其在多雨的台北地區生長最為良好。另外 2 種植物，小葉到手香在高溫及高灌溉的環境因素下能使其生長良好，因此在高溫的台南地區生長較為良好，但較不耐寒，台灣三個地區冬季對於該植物而言過於寒冷，使其落葉甚至枯萎。絨葉小鳳梨在多雨氣候能使其生長良好，因此在多雨的台北地區生長較佳，但植栽全年外型小且覆蓋度低，不符合薄層屋頂綠化之環境生態效益。整體而言，多數低莖植物適合種植於薄層屋頂綠化上，因為其植栽形態較為低矮不易蔓延或徒長，日後維護管理成本較低。

(五)高莖植物

在 6 種高莖植物中，6 種在台灣三個地區皆表現良好。其中，斑葉桔梗蘭無論各地區氣候差異皆生長良好。馬利筋及射干則較受雨量多寡影響其生長勢，兩者在全年多雨的台北地區生長較為良好。射干則是屬於漸進式生長，種植時間越長，其生長狀況越好，較不受高溫或寒害影響。蜘蛛百合及孤挺花皆性喜高溫多溼且具有球根可貯存水分及養份，在高溫多溼的台南地區生長旺盛。馬纓丹喜好高溫及多雨環境，在多雨的台北地區全年皆生長良好，在夏季高溫的台南地區，生長亦旺盛。綜合以上 6 種高莖植物生長情況，由於高莖植物本身外型較高大，枝葉也較茂密，故在生長指數、覆蓋度及生長覆蓋度指數中都有良好的表現。

小結：

從二十種植物的生長覆蓋度指數結果得知，生長覆蓋度指數為簡便測量植物生長狀況的方法，是結合植物茂密程度及外型的綜合評估指標，其中穗花木藍、蘆薈、射干、馬纓丹、斑葉桔梗蘭、馬利筋、蜘蛛百合、孤挺花及武竹因為大致上覆蓋度與生長指數趨勢相似，均適用此類型的評估方法。而草類及低莖植物，因為種類本身生長高度限制，僅可選擇覆蓋度或生長指數其中一種評估方法，較為適用。但就薄層屋頂綠化需要有較高較密的植栽提供有效的環境效益的角度而言，生長覆蓋度指數能有效地篩選出生長旺盛、茂密的植物，在短時間內達到最佳的綠化效果。

各種類型植物在薄層屋頂綠化上都有其優缺點，草皮類植物全年覆蓋度高，以台北草覆蓋度最為良好，且種植在台北地區生長勢最佳。蔓性植物生長快速，

因為有蔓生的特性，生長指數及覆蓋度指數增長速度快，以穗花木藍生長覆蓋度指數最為良好，種植在台南地區有最佳的表現。多肉植物因為植物本身具有保水的特性，不需要太多額外的灌溉，而栽培介質也需以排水性佳的土壤為主，因此在本研究較為保水的栽培介質中生長勢較差，但其中以蘆薈及黃邊蝴蝶之舞生長勢較佳。低莖植物因為植株生長高度有限，植株不會因枝葉過度生長而倒伏或造成過多的水分蒸散等問題，在維護管理上亦為簡便，其中以腎蕨及武竹生長狀態最佳。高莖植物可能因為植株體型較大，較不易受到雜草入侵或病蟲害的影響而造成死亡，但是多數高莖植物可能是因為植株較高大，枝葉蒸散速率較其他種類植物快，所以在水分較豐沛的台北地區生長較為良好，而本研究試驗的 6 種高莖植物皆有良好的表現。



第二節 灌溉水量與頻率

本研究記錄台灣三地區薄層屋頂綠化在一年之間的灌溉水量及頻率，發現有季節性的差異。台北地區屬於夏熱常濕氣候，全年有雨，無顯著乾季，春季需 23 天灌溉一次、夏季需 9 天灌溉一次、秋季需 11 天灌溉一次、冬季無需灌溉，因為台北地區冬天溫度及日射量較低，植物的蒸散作用較低，故在冬天幾乎無須灌溉，僅靠自然降雨即可維持生長。台中及台南地區屬於夏熱冬乾氣候，雨水集中於夏半年，因此台中春季需 10 天灌溉一次、夏季需 5 天灌溉一次、秋季需 9 天灌溉一次、冬季 23 天灌溉一次，而台南春季需 7 天灌溉一次、夏季需 6 天灌溉一次、秋季需 8 天灌溉一次、冬季 15 天灌溉一次。由於台中及台南在冬春季有長達半年的乾旱期，故在冬春季需要灌溉。夏秋季雖為雨季，但因為氣溫及日射量較冬春季高，植物的蒸散作用較冬春季強烈，因此夏秋季所需的灌溉量比冬春季高。在年平均灌溉差異部份，台北地區約 17 天需灌溉一次、台中地區約 9 天需灌溉一次、台南地區約 8 天需灌溉一次，台北地區的灌溉頻率及灌溉量較台中及台南地區少，因為台北雨量較台中及台南多，溫度及日射量較台中及台南地區低之故。

從各地降雨量及灌溉量累計結果得知，在夏季無論降雨多寡，各地需要澆灌的水量皆差異不大，可能因為夏季單次降雨量大，土壤無法吸收過多的水分，導致多數的雨量流失，一旦氣溫或日射量升高，即需要進行灌溉。

在土壤水分張力監測部分，由於土壤水分張力感應器有限，僅能監測六個測點(五種植物及一個裸露土壤)，建議未來可針對各類植物進行深入的土壤水分張力監測，將可更深入探討各種植物之最適灌溉量。

第六章 結論與建議

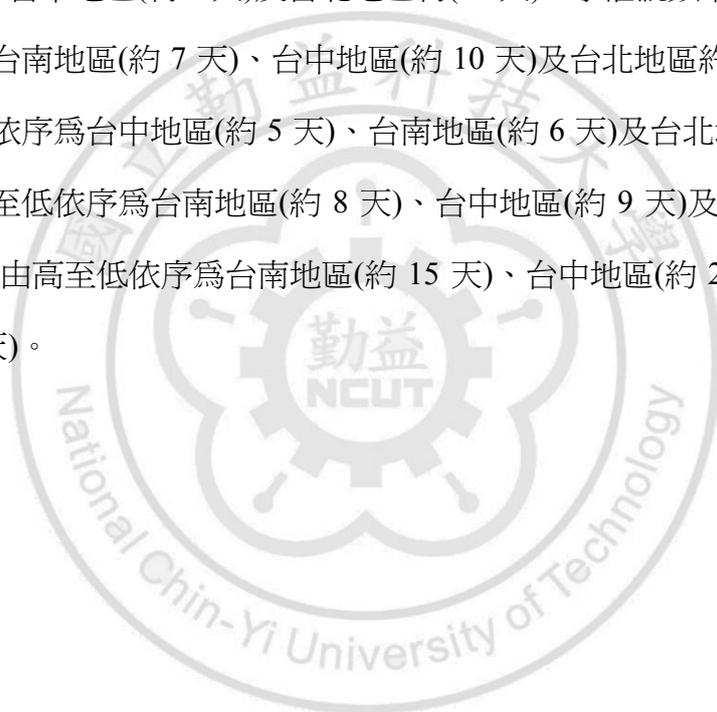
本研究以 15 cm 厚之輕量介質在台灣台北、台中及台南地區作 20 種植物的生長狀況監測，為期一年。以生長指數、覆蓋度及生長覆蓋度指數評估三地區植物生長情形。同時監測三地區土壤水分張力值以決定灌溉與否，並計算出最佳灌溉水量及頻率，研究結論與建議如下：

第一節 結論

- 一、台灣三地區及三種評估方法中，生長皆為良好的植物有穗花木藍、腎蕨、武竹、斑葉桔梗蘭、蜘蛛百合、孤挺花及馬纓丹。另外，台北地區還有蔓花生、蘆薈、馬利筋及射干在三種評估方法中皆良好。台中地區還有蔓花生在三種評估方法中有良好的表現。
- 二、草皮類植物中以台北草生長較良好，且在台北地區生長最佳。蔓性植物中以穗花木藍生長較良好，且在台南地區生長最佳。多肉植物中以蘆薈及黃邊蝴蝶之舞生長較良好，且在台北地區生長最佳。低莖植物中以腎蕨及武竹生長較良好，腎蕨在台北地區生長最佳，武竹則在台灣三地表現皆佳。高莖植物在台灣三地區皆生長良好。
- 三、三種評估方法均能篩選出相同生長良好的植物，但是不同類型的植物，因本身植栽型態的差異，以相同評估標準篩選植栽，恐造成優劣偏頗。例如草皮類植物因生長高度僅限於 3-5 cm，其生長指數全年差異不大，以生長指數評

估其生長狀況，較無法辨別優劣，故僅適合以覆蓋度評估其茂密程度。而蔓性植物、多肉植物、低莖植物及高莖植物均適合以三種評估方法評估之。

四、台灣三地區薄層屋頂綠化全年灌溉水量，由多至少依序為台南地區(6480 L，相當 1080 mm 降雨量)、台中地區(6048 L，相當 1008 mm 降雨量)及台北地區(3168 L，相當 528 mm 降雨量)。年平均灌溉頻率，由高至低依序為台南地區(約 8 天)、台中地區(約 9 天)及台北地區約(17 天)。季灌溉頻率，春季由高至低依序為台南地區(約 7 天)、台中地區(約 10 天)及台北地區約(23 天)。夏季由高至低依序為台中地區(約 5 天)、台南地區(約 6 天)及台北地區約(9 天)。秋季由高至低依序為台南地區(約 8 天)、台中地區(約 9 天)及台北地區約(11 天)。冬季由高至低依序為台南地區(約 15 天)、台中地區(約 23 天)及台北地區約(90 天)。



第二節 建議

- 一、在植栽選種方面，因本研究場地、預算及時間有限，僅試驗 20 種植物，建議後續研究可針對同一類植物進行選種研究，將可深入探討同類植物中不同種的生長差異，以提出台灣地區薄層屋頂綠化更詳盡的適生種類。
- 二、在植栽評估方法部分，本研究以植物需生長得高大茂密為篩選目標，故以生長覆蓋度指數為評估標準，建議可選擇蔓性植物及高莖植物，將可在短時間內達到較佳的生長及覆蓋效果。但是因為植栽種類差異，其生長特性亦不同，例如多肉植物生長較為緩慢、高莖植物其植株生性高大，建議後續研究應分類評估篩選。
- 三、在灌溉量部分，由於本研究設定在六組土壤水分張力感應器中，只要任一個測值達 40k Pa 即施以灌溉，20 種植物不分種類皆給予相同灌溉水量及相同的栽培介質，因此造成部分多肉植物過溼而生長不良，建議未來可以針對不同植物深入探討所需的介質配比、灌溉頻率及灌溉量，將可提出更完整的介質配比及水分管理之建議。



參考文獻

【中文文獻】

1. 于迺文，1987，釀酒葡萄園土壤水分張力變化之電腦模擬與管理試驗，碩士論文，中興大學土壤學研究所，台中。
2. 日本財團法人都市綠化技術開發機構，1998^a，新綠化空間設計指南(1)普及手冊，王兆基 譯，地景企業股份有限公司，台北。
3. 日本財團法人都市綠化技術開發機構，1998^b，新綠化空間設計指南(2)技術手冊，洪得娟譯，地景企業股份有限公司，台北。
4. 王銘琪，1998，台灣自然觀察圖鑑 9—草本觀賞植物(二)，渡假出版社有限公司，台北。
5. 內政部建築研究所，2010，生態城市綠建築系列之一—綠建築解說與評估手冊，內政部建築研究所，台北。
6. 中國北京市品質技術監督局，2005，北京市地方標準—屋頂綠化規範，中國北京。
7. 方智芳，2009，“生態屋頂適生植物之研究”，第七屆造園景觀學術研討會論文集，頁 1-11。
8. 方智芳，2011^a，“薄層綠化屋頂介質及植栽之熱效益”，科學農業，第 59 期，頁 118-136。
9. 方智芳，2011^b，“台灣中部地區生態屋頂減熱效果之研究”，造園學報，17 卷，第四期，頁 45-62。
10. 方智芳，2012，“台中地區生態屋頂適生植物之研究”，造園學報，18 卷，第二期，頁 61-85。
11. 石婉瑜，2004，簡易綠化屋頂報與管理效能之評估—以台北市區為例，碩士論文，國立台灣大學園藝學研究所，台北。
12. 李東衛、廣志勇，2008。“屋頂綠化系統的栽培介質研究”，湖南農業科學，第一期，頁 136-138。
13. 余有終，2008，“綠屋頂原生植物的選擇與應用介紹”，綠屋頂推廣交流討論會，頁 30-34。
14. 李雁冰，2009，福州市屋頂綠化植物的選擇及其耐熱性評價，碩士學位論文，福建農林大學園林植物與觀賞園藝，中國福建。

15. 林怡君，2012，永續型容器薄層屋頂綠化之研究，博士學位論文，成功大學建築學系碩博士班，台南。
16. 施几文，2009，不同灌溉水對屋頂綠化植栽生長影響之研究，碩士論文，朝陽科技大學建築及都市設計研究所，台中。
17. 徐峰、封蕾、郭子一，2004，屋頂花園設計與施工，化學工業出版社，中國北京。
18. 財團法人台北市錫瑠環境綠化基金會，2007，你也能有綠屋頂，財團法人台北市錫瑠環境綠化基金會，台北。
19. 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，頁 10-21。
20. 張育森，2011，“綠屋頂與立體綠化之發展趨勢與管理”，2011 台灣綠能屋頂學術論壇，頁 35-44。
21. 張簡宏裕，2002，屋頂覆土植栽之熱收之研究，碩士論文，國立台灣科技大學營建工程系，台北。
22. 章錦瑜，1999，最新室內觀賞植物，淑馨出版社，台北。
23. 陳運造，1997，台灣自然觀察圖鑑 22 野生觀賞植物(三)，渡假出版社有限公司，台北。
24. 陳坤燦，2008，“綠屋頂植物材料選擇要點與植物種類介紹”，綠屋頂推廣交流討論會，頁 27-29。
25. 許瑞銘，2006，屋頂綠化隔熱效益之研究，碩士論文，朝陽科技大學建築及都市設計研究所，台中。
26. 連祥萍，2009，運用省水耐旱植物進行屋頂薄層綠化之熱效應研究，碩士論文，國立中興大學園藝學系，台中。
27. 黃金錡，1994，屋頂花園設計與營造，中國林業出版社，中國北京。
28. 黃國倉，2011，“綠建築的屋頂綠化”，科學發展，460 期，頁 48-53。
29. 費硯良、張金政，1999，宿根草花，中國林業出版社，中國北京。
30. 董立，1985，球根花卉，銀禾文化事業有限公司，台北。
31. 廖朝軒，2010，“屋頂綠化建構技術之研究”，內政部建築研究所研究報告 (PG9902-0032)。
32. 鄭元春，1997，台灣自然大系 1 台灣的常見野花第一輯，渡假出版社有限公司，台北。
33. 蔡福貴，1993，地被植物(下)，地景企業股份有限公司，台北。
34. 蔡福貴，1998，台灣自然觀察圖鑑 3—木本觀賞植物(一)，渡假出版社有限公司，台北。

35. 劉思吟，2011，薄層屋頂綠化適用植栽之研究，碩士論文，國立中興大學園藝學系研究所，台中。
36. 龜山 章、三沢 彰、近藤三雄、輿水 肇，1995，最先端的綠化技術，李睿明、賴明洲合譯，淑馨出版社，台北。
37. 衡靜，2009，“幾種屋頂綠化植物對種植基質的適應性研究”，河南農業科學，頁 83-85。
38. 薛聰賢，1998^a，台灣花卉實用圖鑑 1 一年生草花 120 種，台灣普綠出版社，彰化。
39. 薛聰賢，1998^b，台灣花卉實用圖鑑 8 木本花卉 195 種，台灣普綠出版社，彰化。
40. 薛聰賢，1998^c，台灣花卉實用圖鑑 11 補遺·新品種 146 種，台灣普綠出版社，彰化。
41. 薛聰賢，2002^a，台灣花卉實用圖鑑 3 球根花卉·多肉植物 150 種，台灣普綠有限公司出版部，彰化。
42. 薛聰賢，2002^b，台灣花卉實用圖鑑 5 觀葉植物 225 種，台灣普綠有限公司出版部，彰化。
43. 薛聰賢，2002^c，台灣花卉實用圖鑑 12 補遺·新品種 167 種，台灣普綠有限公司出版部，彰化。
44. 薛聰賢，2003，台灣原生景觀植物圖鑑 1，台灣普綠有限公司出版部，彰化。
45. 薛聰賢，2004，台灣花卉實用圖鑑 2 宿根草花 150 種，台灣普綠有限公司出版部，彰化。
46. 蘇榮宗，2009，屋頂植草覆土層熱效應之研究，碩士論文，國立高雄大學都市發展與建築研究所，高雄。

【西文文獻】

47. Bousselot, J. M., Klett, J. E., and Koski, R. D., 2010, “Extensive Green Roof Species Evaluations Using Digital Image Analysis”, HORTSCIENCE, 45(8):1288-1292.
48. Bousselot, J. M., Klett, J. E., and Koski, R. D., 2011, “Moisture Content of Extensive Green Roof Substrate and Growth Response of 15 Temperate Plant Species during Dry Down”, HORTSCIENCE, 46(3):518-522.
49. Durhman, A. K., Rowe, D. B. and Rugh, C. L., 2007, “Effect of substrate depth on initial growth, coverage, and survival of 25 succulent green roof plant taxa”,

- HortScience, 42(3):588-595.
50. Fang, C. F. 2010, "Rainwater retention capacity of green roofs in subtropical monsoonal climatic regions: a case study of Taiwan", Design and nature V:Comparing design in nature with science and engineering, 239-249.
 51. FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau). 1995. Guidelines for the planning, execution and upkeep of green roof sites. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau. Bonn, Germany.
 52. Getter, K. L. and Rowe, D. B., 2009, "Substrate Depth Influences Sedum Plant Community on a Green Roof", HORTSCIENCE, 44(2):401-407.
 53. Hien, W. N. and Jusuf, S. K., 2008, "GID-based greenery evaluation on campus master plan", Landscape and Urban Planning, 84:166-182.
 54. Liesecke, H. J., 1998, "Das Retentionsvermögen von Dachbegrünungen.", Stadt und Grun, 1:46-53.
 55. Lin, Y. and Lin, H., 2011, "Thermal performance of different planting substrates and irrigation frequencies in extensive tropical rooftop greeneries", Building and Environment, 46 :345-355.
 56. MacIvor, J. S. and Lundholm, J., 2011, "Performance evaluation of native plants suited to extensive green roof conditions in a maritime climate" Ecological Engineering, 37:407-417
 57. Mentens, J., Raes, D., Herrmy, M., 2006, "Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in urbanize 21st century?", Landscape and Urban Planning, 77:217-226.
 58. Monterusso, M. A., Rowe, D. B., and Rugh, C. L., 2005, "Establishment and Persistence of Sedum spp. and Native Taxa for Green Roof Application", HortScience 40(2):391-396.
 59. Nagase, A. and Dunnett, N., 2010, "Drought tolerance in different vegetation types for extensive green roofs: Effects of watering and diversity", Landscape and Urban Planning, 97: 318-237.
 60. Peck S. W., Callaghan C., Kuhn M. E., Bass B.,1999, "Greenback from Green Roofs: Forging a new industry in Canada", Canada Mortgage and Housing Corporation.
 61. Rowe, D. B., Monterusso, M. A., and Rugh, C. L., 2006, "Assessment of Heat-expanded Slate and Fertility Requirement in Green Roof Plant Substrates", HortTechnology, 16(3):471-477.

62. Sendo, T., Kanechi, M., Uno, Y. and Noboru, I., 2010, "Evaluation of Growth and Green Coverage of Ten Ornamental Species for Planting as Urban Rooftop Greening", Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 79 (1): 69-76.
63. Spectrum Technologies, Inc. Watermark soil moisture sensor catalog # 6450.
64. Thuring, C. E., Berghage, R. D. and Beattie, D. J., 2010, "Green Roof Plant Responses to Different Substrate Types and Depths under Various Drought Conditions", HortTechnology, 20(2):359-401.
65. Voyde, E., Fassman, E., Simcock, R., 2010, "Hydrology of an extensive living roof under sub-tropical climate conditions in Auckland, New Zealand", Journal of Hydrology, 394:284-395.
66. Weiler, S. K. and Scholz-Barth, K., 2009, Green roof system, John Wiley & Sons, Inc., Canada.
67. Wolf, D., Lundholm, J. T., 2008, "Water uptake in green roof microcosms: Effects of plant species and water availability", Ecological Engineering, 33: 179-186.
68. Wong, N., Chen, Y., Ong, C. L., Sia, A., 2003, "Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment", Building and Environment, 38(2):261-270.

【網路資料】

69. Emory Knoll Farms, Green Roof Technology Anatomy of a Green Roof Assembly, 2012.
Website: <http://www.greenroofplants.com/green-roof-technology/>
70. 中央研究院生物多樣性研究中心網站，台灣物種名錄，2012。
網址：<http://taibnet.sinica.edu.tw/home.php>
71. 中央氣象局全球資訊網，氣候—氣候統計，2011。
網址：<http://www.cwb.gov.tw/V7/climate/dailyPrecipitation/dP.htm>
72. 台東洪記植物網，台東洪記留言板，2012。
網址：<http://www.mrflora.com/>
73. 行政院公共工程委員會網站，永續公共工程入口網—工程案例—依公共工程綠色內涵—綠色環境—綠屋頂—邁向永續城市的基礎設施，2012。
網址：<http://eem.pcc.gov.tw/node/31557>
74. 涂智益，2006 財團法人台北市錫瑠綠化基金會新益社區規劃服務中心網站，

專題一：日本在綠屋頂上的努力，2012。

網址：<http://www.hsiliu.org.tw/shin/greenhouse/greenhouse07-1.htm>

75. 陳佳忠，國立中興大學生物系統工程研究室網站，pH 與植物肥料之關係 2011。

網址：http://amebse.nchu.edu.tw/new_page_397.htm

76. 新北市 2011 推動綠能屋頂示範計畫網站，推建綠能屋頂形態及規範，2012。

網址：http://www.2011greenroof.info/about_greenroof.html



附錄(一)試驗儀器

試驗儀器整理表

儀器名稱	型號/規格	用途
土壤水分張力感應器 Watermark Soil Moisture Sensor	型號：6450 廠牌：Spectrum	用於土壤因乾燥或濕潤時，藉由收縮壓力感應土壤中水分壓力。
		
土壤水分張力感應器讀取儀 Soil Sensor Reader	型號：6465 廠牌：Spectrum	配合土壤水分張力感應器測量土壤張力。測量指數範圍 0-200，0-10 kPa 表示土壤為飽和水；10-30kPa 表示土壤有足夠溼度；30-60 kPa 表示除了黏土之外其餘土壤需要澆灌；60-100 kPa 表示當黏土達 60-100 kPa 時需要灌溉；100-200 kPa 表示土壤非常乾燥，危及植物生存。
		
降雨量資料收集器 Rain Gauge with Data Logger	型號：3554WD 廠牌：Spectrum	雨量筒直徑 20.3 公分具自我排空設計的雨量收集，符合世界氣象組織的規範。資料收集器記錄每次測量間隔的累積雨量，每次測量間隔最多 650mm。操作者可自行設定 1、5、10、15、30、60 或 120 分鐘間隔。資料收集器可儲存 7000 次間隔的測量值。
		

(資料來源：本研究整理)

附錄(二)氣象數據

2011 年試驗期間氣象資料整理表

月份	台北			台中			台南		
	氣溫 °C	雨量 mm	日射量 MJ/m ²	氣溫 °C	雨量 mm	日射量 MJ/m ²	氣溫 °C	雨量 mm	日射量 MJ/m ²
1	13.7	178.5	103.71	14.9	42.9	330.71	15.4	7.5	355.84
2	16.9	117.4	209.8	17.2	30.5	379.65	17.9	3	456.81
3	16.2	164.6	203.7	18.2	41.3	391.83	19.2	3.9	483.19
4	21.7	79.9	405.74	23.1	5.5	480.97	23.9	3.7	595.9
5	24.7	381.7	330.06	26	129.8	473.13	26.7	0.9	585.41
6	29	272.4	421.69	29.1	137.1	565.84	29.1	283.6	619.56
7	29.7	63	470.47	28.8	329.9	573.82	28.7	128.1	612.75
8	29.6	331.8	470.73	29	239.9	490.35	29.5	283	619.1
9	27.6	125.2	397.67	28	64.1	489.87	28.7	31.7	556.76
10	24.1	305.4	218.29	25.9	21.1	457.46	26.2	42.7	464.28
11	22.9	360.2	198.98	23.8	154.8	330.49	24	182.4	309.11
12	16.7	280	89.3	17.8	243.1	347.67	18.4	7	308.22

1.氣溫及日射量為中央氣象局網站資料

2.雨量為本研究於三地區實測記錄

(資料來源：本研究整理)

附錄(三)試驗植栽照片



台北草
Zoysia matrella (L.) Merr. cv.



百慕達草
Cynodon dactylon (L.) Pers. cv.
Tif lawn



蔓花生
Arachis duranensis Krapov. &
W. C. Greg.



穗花木藍
Indigofera spicata Forsk.



松葉牡丹
Portulaca pilosa L. subsp.
grandiflora (Hook.) Geesink



馬齒牡丹
Portulaca
oleracea L. var. *granatus* Bailey



長壽花
Kalanchoe blossfeldiana
var. Poellnitz



石蓮花
Graptopetalum paraguayense
(N. E. Br.) E. Walth.



蘆薈
Aloe vera (L.)
Webb. var. *chinensis* Haw.



黃邊蝴蝶之舞
Kalanchoe fedtschenkoi Hamet
& Perr cv. Marginata



小葉到手香
Plectranthus socotranum



絨葉小鳳梨
Cryptanthus bivittatus (Hook.)
Regel



腎蕨
Nephrolepis auriculata (L.)
Trimen



武竹
Asparagus densiflorus (Kunth.)
Jessop cv. Spengeri



斑葉桔梗蘭
Dianella ensifolia (L.) DC. cv.
Silvery Stripe



馬利筋
Asclepias curassavica (L.)



射干
Belamcanda chinensis (L.) DC.



蜘蛛百合
Hymenocallis speciosa (L. f. ex
Salisb.) Salisb.



孤挺花
Hippeastrum hybridum cv.



馬纓丹
Lantana camara (L.) cv. Mista

附錄(四)試驗植栽種植初始尺寸

植栽型態	中名	種植尺寸 (cm ± SD.)		
		長度	寬度	高度
草皮類	台北草 (馬尼拉草)	50±0.0	10±0.0	1.6±0.3
	百慕達草 (狗牙根)	50±0.0	10±0.0	2.4±0.3
蔓性植物	蔓花生	16.7±2.3	16.9±1.9	5.7±0.6
	穗花木藍	16.5±1.7	15.8±2.0	4.9±0.7
多肉植物	松葉牡丹	11.4±2.8	11.1±2.5	4.5±0.5
	馬齒牡丹	25.3±2.6	25.1±2.3	7.3±0.5
	長壽花	7.7±1.3	8.1±1.5	5.1±0.8
	石蓮花 (風車草)	10.3±1.3	10.7±1.9	5.6±0.6
	蘆薈	15.5±3.9	11.6±3.8	10.5±1.1
	黃邊蝴蝶之舞 (鑲邊錦蝶)	7.1±1.1	7.4±1.4	6.8±1.2
低莖植物	小葉到手香	14.7±1.6	15.1±1.4	7.8±0.8
	絨葉小鳳梨	14.2±1.6	15.4±1.5	5.6±0.5
	腎蕨	23.2±2.0	25.6±2.7	30.8±1.2
	武竹	8.4±1.5	9.0±1.5	10±1.6
高莖植物	斑葉桔梗蘭 (花葉山菅蘭)	18.5±5.4	19.1±6.9	21.9±2.1
	馬利筋 (尖尾鳳)	18.7±3.4	17.1±2.9	39.8±0.6
	射干	18.1±2.8	18.7±2.2	15.6±1.8
	蜘蛛百合	30.2±11.0	32.7±11.5	24.5±2.4
	孤挺花	49.1±3.5	47.5±8.7	30.3±3.2
	馬纓丹 (橙紅馬纓丹)	12.5±2.4	14.3±2.1	7.3±0.9

