

運用省水耐旱植栽進行屋頂薄層綠化之熱效應研究

連祥萍¹⁾ 劉東啟²⁾

關鍵字：屋頂薄層綠化、省水耐旱植栽、熱傳導係數

摘要：本研究目標在選拔適用於屋頂薄層綠化省水耐旱植栽，以進行不同植栽在不同土壤厚度的薄層綠化盤之熱傳導效益，做為尋找在台灣適用的薄層綠化技術之基礎。本實驗結果顯示，屋頂薄層綠化可降低建築屋頂之地板表面溫度，在土層厚 5cm 的薄層綠化盤可降低地板溫度 23.3°C。而且，薄層綠化盤會因土層厚度與植栽的不同，對地板表面降溫效果差異顯著。土層厚度越厚，熱流傳導少，溫度也越低。再者，藉由熱傳導係數瞭解薄層綠化盤導熱的速度及能力，得知土層厚 5cm 的鵝鑾鼻燈籠草綠化盤隔熱最好；其次是土層厚 5cm 的松葉景天綠化盤；最後是土層厚 5cm 的鋪地錦竹草綠化盤。因此，薄層綠化是對夏季酷熱的台灣建築物節能減碳有效的手法，及應推廣的重要綠化工作。

前 言

在許多建築綠化方法中，屋頂綠化能夠以最簡單的方法，增加綠化面積，並且增加綠蔽面積，形成隔熱效果。根據我國「建築技術規則建築構造篇第 17 條條文」規定：各類平屋頂建築物的屋頂活載重量為 150-450 kg/m²。在住宅屋頂方面，荷重為 150 kg/m²。然而一般的草皮，在土層濕潤時，土壤的厚度 10cm 就可能超過法定一般住宅屋頂活載重量為 150 kg/m² 的規定，有屋頂樓板載重過度的危險性。因此，對於都市中既有建築，事先都沒有考量做屋頂綠化，載重設計小，無法承受屋頂綠化之規劃。所以，安全的屋頂綠化，土層厚度必須在 10cm 以下，也才符合住宅屋頂活載重量之規定。同時花園式屋頂綠化種植一般的景觀植物，需靠人工進行灌溉，要耗費大量的水資源，也要大量人工管理，難以像建築材料一樣廣泛應用。於是，屋頂薄層綠化重點在降低植物種植土層與耗水量，以及

1) 國立中興大學園藝學系碩士班研究生。

2) 國立中興大學園藝學系助理教授，通訊作者。

低維護管理，並減少屋頂載重，對建築屋頂安全及架構不會造成影響。而且，屋頂薄層綠化能夠增加都市綠地面積，並達到改善都市環境的目的。

本研究針對台灣亞熱帶氣候環境，探討何種植栽可進行薄層綠化，並分析其熱效應。希望能做為尋找在台灣適用的薄層綠化技術之基礎。因此，本研究目標有二：1. 進行屋頂薄層綠化適用之省水耐旱植栽選拔；2. 實驗分析植栽在不同土壤厚度的薄層綠化盤之熱效應，確認土層的厚度與熱效應的關係。

文獻回顧

一、省水耐旱植栽選拔相關文獻

(一) 屋頂薄層綠化選拔重點

屋頂薄層綠化的成功，植栽選擇極其重要。屋頂環境的特殊性決定了植物應用形式和種類選擇。植物種類篩選和適應性及維護管理是屋頂綠化的重要的一環。在植栽選拔重點方面，首重植栽對當地氣候的適應性、其次為植栽覆蓋。而在植栽材料選擇方面，依植物生長環境位置，可選擇生長在海岸邊、石灰岩地區等植栽，因其生長環境與屋頂氣候環境類似(Dunnett and Kingsbury, 2004)。依植物生理和外形特徵，以耐旱的多肉植物、草本植物及球根植物為優先考量(飯島健太郎, 1993; Getter and Rowe, 2006; 三輪隆, 2006)。

多肉植物中的景天科與當地原生植物，經常做為屋頂薄層綠化省水耐旱植栽的選拔。而植栽選拔的評估面向有氣候環境、耐旱性、覆蓋率、存活率、開花、根系、維護管理及生長狀態進行分析植栽的適應性。再者，屋頂薄層綠化介質的厚度影響植栽的生長，所以水分有無提供是很重要的(近藤三雄等, 1988; 飯島健太郎等, 1992; 小峰正之等, 2005; Durhman et al., 2007; Getter and Rowe, 2008)。

(二) 熱傳理論與機制

1. 熱傳理論

熱傳指的是包括各種形式熱能轉移現象的總稱，根據物理機制的不同，熱傳的基本方式分為傳導、對流和輻射三種，由高溫向低溫處傳遞。熱傳種類則分為熱傳導、熱傳遞、熱傳透。熱之移動有時依熱傳導、熱傳遞、熱傳透，其中之一單獨發生，有時由其中二者或三者同時發生，稱為綜合熱傳現象(江哲銘, 2007)。

2. 熱傳導係數

熱量之移動之特色是只要有溫度差，熱量就會從高溫處移向低溫處。此熱量流動現象是高溫處之溫度下降，而低溫處之溫度上昇，當兩者溫度相同時即停止。熱傳導係數的定義：當隔熱材料兩側溫度差 1°C (1K)時，在單位時間裡通過單位面積的傳熱量(周鼎金, 1995)。熱傳導係數之計算公式如下：

$$Q = -\lambda \frac{(T_2 - T_1)}{\Delta h} \Rightarrow \lambda = -Q \frac{\Delta h}{(T_2 - T_1)}$$

式中

Q：熱流通量(heat flux)，單位為(W/m²)。 λ：熱傳導係數，單位為(W/m°C)。

Δh：單一實體材料厚度，單位為(m)。 T₁：高溫表面溫度，單位為(°C)。

T₂：低溫表面溫度，單位為(°C)。

熱傳導係數是物質材料的熱傳輸性質，可視為材料熱傳輸快慢的指標。熱傳導係數越小，表示導熱能力差，隔熱能力強。根據學者(垣鍔直，2004；森本文，2004；Sailor *et al.*, 2008)有關屋頂綠化研究，透過土壤水分、溫度、太陽輻射、熱流等等，實測分析土壤熱傳導率，了解植栽和土壤的熱特性對建築熱平衡的影響。於是，本研究以熱傳理論中穩態傳熱觀點，將選拔的省水耐旱植栽與土壤視為一個隔熱材料，探討薄層綠化對建築屋頂之熱效應。

材料與方法

本研究實驗內容分為兩階段，第一階段進行屋頂薄層綠化適用之省水耐旱植栽選拔。將收集的多肉植物及耐旱植物等植栽，分別以省水耐旱實驗、覆蓋率實驗及根系實驗，探討植栽在屋頂的生長狀況、覆蓋情形及根系發展。第二階段，選拔出三種適合屋頂薄層綠化之植栽，實驗分析省水耐旱植栽在不同土壤厚度的薄層綠化盤之熱效應。主要探討 1. 薄層綠化盤對屋頂隔熱之影響；2. 鋪地錦竹草、松葉景天、鵝鑾鼻燈籠草在土層厚 1cm、3cm、5cm 的薄層綠化盤之熱傳差異；以及 3. 三種植栽的薄層綠化盤之熱傳導係數分析。以下將分別說明實驗流程。

一、屋頂薄層綠化適用之省水耐旱植栽選拔

(一) 實驗植栽

屋頂薄層綠化植栽研究中，常用多肉植物、Sedum 屬植物或耐旱植物作為屋頂薄層綠化植栽材料。其優點是植栽生理特性及外觀形態能夠耐熱、耐旱。故本研究收集市面上容易取得之多肉植物、景天科植物及海濱植物，共 24 種(表 1)，做為省水耐旱植栽選拔。

(二) 省水耐旱實驗

以番杏柳、松葉牡丹、吹雪之松、蕾絲姑娘、露娜蓮、花月夜、石蓮、長壽花、黃覆輪蝴蝶之舞、鵝鑾鼻燈籠草、不死鳥、千代田之松、小小連石、虹之玉錦、松葉景天、細葉萬年草、鋪地錦竹草等共 17 種植栽材料，做為省水耐旱實驗之植栽。以省水之觀點，將所收集的植栽種植於植栽盤上，定期澆水 2~3 個月，使植栽穩定生長。之後完全不澆水，讓植栽在自然環境下，任其自由生長、發展。每隔一個月拍照、紀錄植栽的生長狀況，並利用台中氣象站的氣象資料討論植栽的適應性。實驗時間：2007 年 03 月~2008 年 12 月。

表 1. 植栽名稱整理

Table 1. Finishing Plant name

植物名稱	科名、屬名	學名
番杏柳	仙人掌科 Rhipsalis 屬	<i>Rhipsalis mesembryanthoides</i> Haw.
狗牙根	禾本科 Cynodon 屬	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.
松葉牡丹	馬齒莧科 Portulaca 屬	<i>Portulaca grandiflora</i> Hook.
馬齒牡丹	馬齒莧科 Portulaca 屬	<i>Portulaca oleracea</i> 'Wildfire'
毛馬齒莧	馬齒莧科 Portulaca 屬	<i>Portulaca pilosa</i> L.
吹雪之松	馬齒莧科 Anacampseros 屬	<i>Anacampseros rufescens</i>
落地生根	景天科 Bryophyllum 屬	<i>Bryophyllum pinnatum</i> (Lam.) Kurz
蕾絲姑娘	景天科 Bryophyllum 屬	<i>Bryophyllum</i> 'Crenatodaigremontianum'
露娜蓮	景天科 Echeveria 屬	<i>Echeveria</i> 'Lola'
花月夜	景天科 Echeveria 屬	<i>Echeveria pulidonis</i> E.WALTH.
石蓮	景天科 Graptopetalum 屬	<i>Graptopetalum paraguayense</i>
長壽花	景天科 Kalanchoe 屬	<i>Kalanchoe blossfeldiana</i>
黃覆輪蝴蝶之舞	景天科 Kalanchoe 屬	<i>Kalanchoe fedtschenkoi</i> HAMET & PERR 'Marginata'
鵝鑾鼻燈籠草	景天科 Kalanchoe 屬	<i>Kalanchoe garambiensis</i> Kudo
不死鳥	景天科 Kalanchoe 屬	<i>Kalanchoe hybrida</i> Desf. ex Steud.
千代田之松	景天科 Pachyphytum 屬	<i>Pachyphytum compactum</i> Rose
小小連石	景天科 Pachyveria 屬	<i>Pachyveria clavata</i> 'Cristata'
白佛甲	景天科 Sedum 屬	<i>Sedum lineare</i> "Variegatum"
虹之玉錦	景天科 Sedum 屬	<i>Sedum rubrotinctum</i>
松葉景天	景天科 Sedum 屬	<i>Sedum mexicanum</i>
細葉萬年草	景天科 Sedum 屬	<i>Sedum pallidum</i> f. variegatum
玫瑰景天	景天科 Sedum 屬	<i>Sedum</i> spp.
滇瓦松	景天科 Sedum 屬	<i>Sedum multicaule</i>
鋪地錦竹草	鴨拓草科 Commelinaceae 屬	<i>Callisia repens</i> L.

(三) 覆蓋率實驗

以馬齒牡丹、落地生根、石蓮、黃覆輪蝴蝶之舞、鵝鑾鼻燈籠草、不死鳥、白佛甲、松葉景天、玫瑰景天、滇瓦松、鋪地錦竹草等 11 種植栽，進行植栽覆蓋率實驗。在植栽

盤上畫出 900cm² 的種植面積，將植栽扦插於植栽盤上。每隔 5 天進行拍照記錄，待某一種植物完全覆蓋植栽盤，即停止記錄。所拍攝的照片，利用 Definiens5.0 數化照片摘取植栽覆蓋面積，接著，使用 Arc View 9.0 計算所摘出的面積，最後使用 Microsoft excel 2003 將數據繪製成表格與圖表，進行分析與討論。實驗時間：2008 年 06 月 20 日~ 2008 年 08 月 30 日，進行為期 72 天植栽覆蓋拍照記錄。

(四) 根系實驗

1. 實驗步驟

將狗牙根、馬齒牡丹、毛馬齒莧、蕾絲姑娘、鵝鑾鼻燈籠草、不死鳥、松葉景天、鋪地錦竹草等 8 種植栽，進行植栽根部發展實驗。將採集的屋頂自生野草及耐旱植栽，分別種於直徑 11 公分，高 50 公分的圓形 PVC 水管內，種植半年後取出植栽，清除根部所附著的泥土，測量植栽根部長度，並拍照記錄。使用 Microsoft excel 2003 將數據繪製成表格與圖表，進行分析與討論。實驗時間：2008 年 01 月~2008 年 06 月。

二、屋頂薄層綠化之熱效應實驗

為了解太陽輻射熱對綠化盤的垂直影響，本實驗製作簡易保麗箱，將綠化盤放置保麗龍箱內，用以隔離綠化盤周圍的太陽輻射熱。量測薄層綠化盤的溫度和熱流，計算熱傳導係數，分析植栽在不同土壤厚度的薄層綠化盤對建築物的熱效應。量測位置如下述：

1. 溫度：分別在非綠化地板上方 50cm、非綠化地板表面，植生層上方 20cm 及綠化盤底放置 K type 熱偶線，量測溫度。
2. 熱流：在綠化盤底放置熱流板(厚：3.91 mm，直徑：38.2 mm，精準度：±5%)。

在薄層綠化盤土層乾燥下，進行量測。實驗時間為 97 年 7 月 16 日、8 月 26 日、8 月 29 日、9 月 20 日、9 月 22 日、9 月 25 日，共六天，每天上午 10:00 至下午 4:30。在溫度及熱流的量測，以 21X-Data logger(製造商：Campbell Scientific Co., 美國)每 1 分鐘紀錄一次。以 Microsoft excel 2003 擷取所量測溫度及熱流的數據，將所測得之溫度及熱流帶入熱傳導係數計算公式，以求得薄層綠化盤之熱傳導係數，接著進一步討論薄層綠化盤之熱效應。使用 SPSS10.0 進行敘述統計和單因子變異數分析。

結果與討論

一、屋頂薄層綠化適用之省水耐旱植栽選拔結果分析與討論

(一) 省水耐旱實驗結果

藉由省水耐旱實驗得知，對於屋頂氣候環境的變化，本實驗使用 17 種植物，生長良好之植栽有 8 種；瀕臨死亡或已死亡植栽有 9 種，參照表 2。

表 2. 植栽存活整理

Table 2. Finishing plant survival

生長良好之植栽		
植物名稱	科名、屬名	學名
番杏柳	仙人掌科 Rhipsalis 屬	<i>Rhipsalis mesembryanthoides</i> Haw.
蕾絲姑娘	景天科 Bryophyllum 屬	<i>Bryophyllum 'Crenatodaigremontianum'</i>
石蓮	景天科 Graptopetalum 屬	<i>Graptopetalum paraguayense</i>
不死鳥	景天科 Kalanchoe 屬	<i>Kalanchoe hybrida</i> Desf. ex Steud.
黃覆輪蝴蝶之舞	景天科 Kalanchoe 屬	<i>Kalanchoe fedtschenkoi</i> HAMET & PERR 'Marginata'
鵝鑾鼻燈籠草	景天科 Kalanchoe 屬	<i>Kalanchoe garambiensis</i> Kudo
松葉景天	景天科 Sedum 屬	<i>Sedum mexicanum</i>
鋪地錦竹草	鴨拓草科 Commelinaceae 屬	<i>Callisia repens</i> L.
瀕臨死亡或已死亡植栽		
植物名稱	科名、屬名	學名
松葉牡丹	馬齒莧科 Portulaca 屬	<i>Portulaca grandiflora</i> Hook.
吹雪之松	馬齒莧科 Anacampseros 屬	<i>Anacampseros rufescens</i>
露娜蓮	景天科 Echeveria 屬	<i>Echeveria 'Lola'</i>
花月夜	景天科 Echeveria 屬	<i>Echeveria pulidonis</i> E.WALTH.
長壽花	景天科 Kalanchoe 屬	<i>Kalanchoe blossfeldiana</i>
千代田之松	景天科 Pachyphytum 屬	<i>Pachyphytum compactum</i> Rose
小小連石	景天科 Pachyveria 屬	<i>Pachyveria clavata 'Cristata'</i>
虹之玉錦	景天科 Sedum 屬	<i>Sedum rubrotinctum</i>
細葉萬年草	景天科 Sedum 屬	<i>Sedum pallidum</i> f. <i>variegatum</i>

(二) 植栽覆蓋率實驗結果

在植栽生長覆蓋以鋪地錦竹草、松葉景天、滇瓦松、鵝鑾鼻燈籠草、不死鳥、馬齒牡丹以及落地生根等，覆蓋率都在 100% 以上(圖 1)。顯示上述植栽能存活於屋頂的氣候環境。

(三) 植栽根系發展結果

由根系實驗瞭解，根系發展慢且生長較短的植栽為松葉景天、不死鳥、毛馬齒莧、鵝鑾鼻燈籠草、蕾絲姑娘與鋪地錦竹草(圖 2)。

根據省水耐旱實驗、覆蓋率實驗與根系實驗，將生長良好之植栽彙整為表 3。收集的 24 種植栽中，有 11 種植栽能適應屋頂環境。而本研究主要是以地被綠覆型式植栽在薄層綠化盤進行探討。於是，本研究選拔出適用於屋頂薄層綠化之簇生型的松葉景天、匍匐型的鋪地錦竹草和叢聚型的鵝鑾鼻燈籠草等三種植栽，進行屋頂薄層綠化熱效應之實驗。

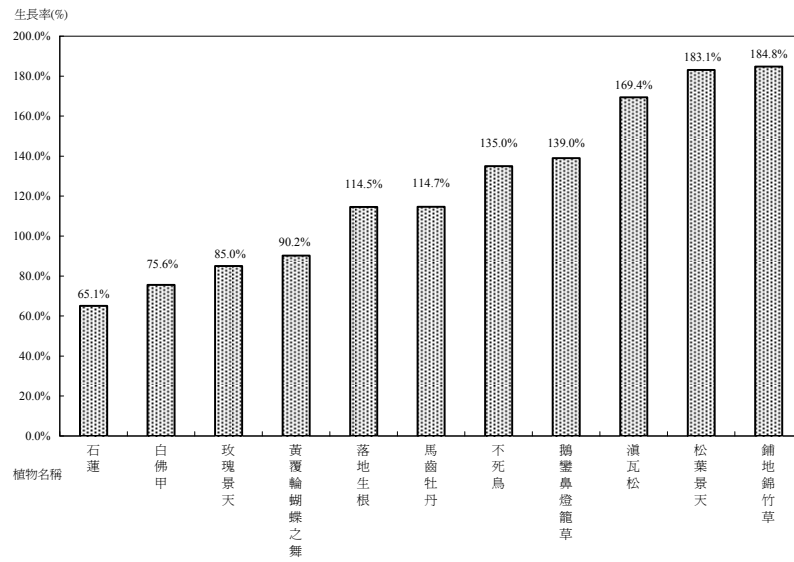


圖 1 植物覆蓋率圖

Fig. 1. Plant coverage map

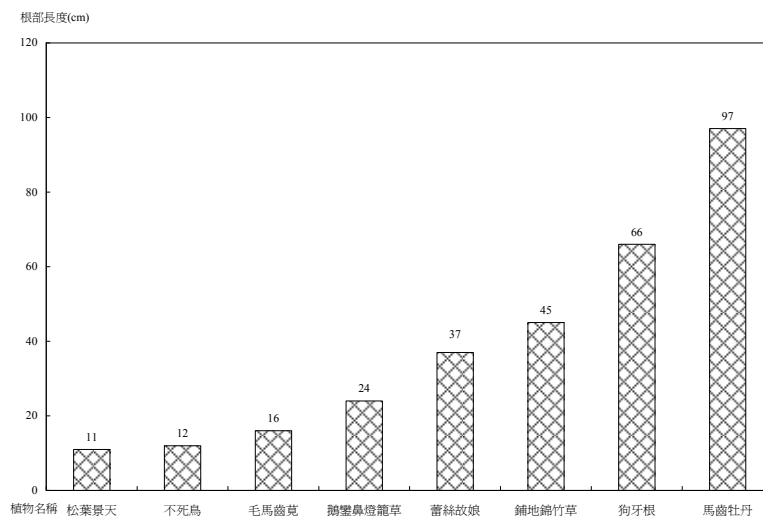


圖 2 植栽根部長度

Fig. 2. The length of plant roots

表 3. 適用之省水耐旱植栽表

Table 3. Applicable form of drought-tolerant plants

序號	植物名稱	原產地	生長型態	耐旱性	覆蓋率	根系	綜合性 評估
1	不死鳥	園藝種	簇生型	◎	◎	◎	9
2	石蓮	墨西哥	簇生型	◎	△	◎	7
3	松葉景天	墨西哥	簇生型	◎	◎	◎	9
4	馬齒牡丹	南美洲	叢聚型	○	◎	△	6
5	番杏柳	巴西	叢聚型	◎	○	○	7
6	黃覆輪蝴蝶之舞	園藝種	直立型	◎	○	△	6
7	滇瓦松	中國	簇生型	○	◎	○	7
8	落地生根	熱帶非洲	直立型	◎	◎	△	7
9	鋪地錦竹草	熱帶美洲	匍匐型	◎	◎	◎	9
10	蕾絲姑娘	馬達加斯加	直立型	○	○	○	6
11	鵝鑾鼻燈籠草	台灣	叢聚型	◎	◎	◎	9

◎：優，評等 3 分。在耐旱性表示植栽生長良好；覆蓋率表示存活率 >100%；根系淺。

○：良，評等 2 分。在耐旱性表示植栽生長良好；覆蓋率表示存活率 =100%。

△：不良，評等 1 分。在耐旱性表示植栽生長良好；覆蓋率表示存活率 <100%；根系深。

二、屋頂薄層綠化之熱效應分析與討論

(一) 薄層綠化盤對屋頂隔熱之影響

經由溫度分析結果得知，隨著當日氣溫的增加，地板表面溫度變化量最大，而鋪地錦竹草、松葉景天、鵝鑾鼻燈籠草各自在土層厚 1cm、3cm、5cm 的薄層綠化盤盤底的溫度變化量皆在 6.2°C 以下比地板溫度變化量小。且鋪地錦竹草、松葉景天、鵝鑾鼻燈籠草各自在土層厚 3cm、5cm 的薄層綠化盤盤底的平均溫度皆低於地板表面平均溫度 7°C 以上(表 4)。因此，薄層綠化盤可降低建築屋頂之地板表面溫度，改善屋頂熱環境。

(二) 鋪地錦竹草、松葉景天、鵝鑾鼻燈籠草在土層厚 1cm、3cm、5cm 的薄層綠化盤之熱傳的差異

由 7 月 16 日、8 月 26 日、8 月 29 日三種植栽之薄層綠化盤盤底平均溫度經過變異數分析(表 5)，得知相同植栽在土層厚 1cm、3cm、5cm 的綠化盤盤底平均溫度皆有顯著差異 ($p < 0.05$)。薄層綠化盤平均熱流經過變異數分析，了解相同植栽在土層厚 1cm、3cm、5cm 的綠化盤所傳導的熱流皆有顯著差異 ($p < 0.05$)。因此，溫度與熱流的傳導有正相關。相同植栽在溫度和熱流變化，會隨土層厚 1cm、3cm、5cm 的綠化盤而改變。土層厚度越厚，

熱流傳導少，溫度也越低。所以，相同植栽在土層厚 1cm、3cm、5cm 的綠化盤的熱傳由高到低為：土層厚 1cm > 土層厚 3cm > 土層厚 5cm。

9 月 20 日、9 月 22 日、9 月 25 日三種植栽在相同土層厚之薄層綠化盤盤底平均溫度經過變異數分析(表 6)，可知不同植栽在相同土層厚的綠化盤盤底平均溫度皆有顯著差異($p < 0.05$)。薄層綠化盤平均熱流經過變異數分析，得知不同植栽在相同土層厚的綠化盤盤底平均熱流皆有顯著差異($p < 0.05$)。因此，不同植栽在相同厚度會因植栽的不同，熱傳也會有影響。所以，鋪地錦竹草、松葉景天、鵝鑾鼻燈籠草在相同厚度的熱傳效應由高到低為：鋪地錦竹草 > 松葉景天 > 鵝鑾鼻燈籠草。

(三) 鋪地錦竹草、松葉景天、鵝鑾鼻燈籠草在不同土層厚的薄層綠化之熱傳導係數分析

鋪地錦竹草、松葉景天、鵝鑾鼻燈籠草的薄層綠化盤計算出熱傳導係數如表 7 所示。由表 7 發現大部分薄層綠化盤之平均熱傳導係數呈現負值，而在表 6 可看出平均熱流呈現負值。一般而言，熱量是從高處往低處流，而熱量逆流的狀況會產生熱傳導係數呈現負值的現象。也就是說，薄層綠化盤土層在乾燥情況下，其熱傳導的方向會因為地板的蓄積熱的影響，到最後薄層綠化盤的熱度也高過空氣裡的熱度。

表 4. 薄層綠化盤、當日溫度和地板溫度分析

Table 4. Thin-layer green plates, temperature and floor temperature analysis (單位：°C)

日期	溫度量測位置	最小值	最大值	平均值	與地板溫差
7 月 16 日	當日溫度	30.1	34.8	32.4	-6.5
	地板溫度	32.7	47.6	38.9	-
	1cm 土壤厚鋪地錦竹草盤底溫度	34.6	40.8	38.2	-0.7
	3cm 土壤厚鋪地錦竹草盤底溫度	30.3	32.5	31.4	-7.5
	5cm 土壤厚鋪地錦竹草盤底溫度	30.2	32.2	31.2	-7.7
8 月 26 日	當日溫度	29.6	36.7	32.9	-20.0
	地板溫度	45.9	58.0	52.9	-
	1cm 土壤厚松葉景天盤底溫度	36.9	42.6	40.1	-12.8
	3cm 土壤厚松葉景天盤底溫度	33.4	37.3	35.7	-17.2
	5cm 土壤厚松葉景天盤底溫度	28.6	30.2	29.6	-23.3
8 月 29 日	當日溫度	29.1	33.7	31.0	-14.8
	地板溫度	41.0	49.9	45.8	-
	1cm 土壤厚鵝鑾鼻燈籠草盤底溫度	34.3	39.5	36.7	-9.1
	3cm 土壤厚鵝鑾鼻燈籠草盤底溫度	31.7	33.8	32.6	-13.1
	5cm 土壤厚鵝鑾鼻燈籠草盤底溫度	29.6	31.5	30.6	-15.2

所以，在此以只有正值熱傳導係數做討論。表 7 中，鋪地錦竹草的熱傳導係數在土層厚 1cm、3cm、5cm 的綠化盤差異小。松葉景天在土層厚 3cm 的平均熱傳導係數值為 0.151W/mK，和在土層厚 5cm 的平均熱傳導係數值為 0.061W/mK，有近兩倍的差異。而且，鵝鑾鼻燈籠草在土層厚 5cm 的綠化盤平均熱傳導係數是九組綠化盤中最小的，平均熱傳導係數值為 0.036W/mK。

由內政部營建署提供之建材之熱傳導係數表，瞭解土層厚 5cm 的鵝鑾鼻燈籠草綠化盤之熱傳導係數 0.036 W/mK，相當於合成樹脂板類的發泡聚苯乙烯(高密度保麗龍)之熱傳導係數 0.037W/mK。土層厚 5cm 的松葉景天綠化盤之熱傳導係數為 0.061W/mK，相當於纖維材料類的岩棉吸音板之熱傳導係數 0.064W/mK。土層厚 5cm 的鋪地錦竹草綠化盤之熱傳導係數為 0.250W/mK，近似於塑膠、紙類的岩棉吸音板的熱傳導係數 0.210W/mK。因此，藉由熱傳導係數了解薄層綠化盤導熱的速度及能力，可做為建築綠化隔熱材料及模擬建築省能的參考。

表 5. 鋪地錦竹草、松葉景天、鵝鑾鼻燈籠草各自分別在土層厚 1cm、3cm、5cm 的綠化盤溫度及熱流差異分析

Table 5. *Callisia repens* L., *Sedum mexicanum*, *Kalanchoe garambiensis* Kudo in the soil layer thickness 1cm, 3cm, 5cm difference between the temperature and heat flow analysis

日期	植栽	平均溫度	顯著性 (P)	平均熱流	顯著性 (P)
7 月 16 日	1 cm 土壤厚鋪地錦竹草盤底	38.2		25.691	
	3 cm 土壤厚鋪地錦竹草盤底	31.4	0.000	5.256	0.000
	5 cm 土壤厚鋪地錦竹草盤底	31.2		2.170	
8 月 26 日	1 cm 土壤厚松葉景天盤底	40.1		40.098	
	3 cm 土壤厚松葉景天盤底	35.7	0.000	35.734	0.000
	5 cm 土壤厚松葉景天盤底	29.6		29.591	
8 月 29 日	1 cm 土壤厚鵝鑾鼻燈籠草盤底	36.7		36.709	
	3 cm 土壤厚鵝鑾鼻燈籠草盤底	32.6	0.000	32.649	0.000
	5 cm 土壤厚鵝鑾鼻燈籠草盤底	30.6		30.572	

1. 溫度單位：℃；熱流單位：W/m²

2. p<0.05 表示差異達顯著水準。

表 6. 鋪地錦竹草、松葉景天、鵝鑾鼻燈籠草在相同土層厚的綠化盤溫度及熱流差異分析
 Table 6. *Callisia repens* L., *Sedum mexicanum*, *Kalanchoe garambiensis* Kudo in the same layer thickness difference between the temperature and heat flow analysis

日期	植栽	平均溫度	顯著性 (P)	平均熱流	顯著性 (P)
9 月 20 日	3cm 土壤厚鵝鑾鼻燈籠草盤底	33.1		0.422	
	3cm 土壤厚鋪地錦竹草盤底	34.2	0.000	7.165	0.000
	3cm 土壤厚松葉景天盤底	32.9		0.487	
9 月 22 日	5cm 土壤厚鵝鑾鼻燈籠草盤底	34.3		-0.368	
	5cm 土壤厚鋪地錦竹草盤底	35.7	0.000	5.865	0.010
	5cm 土壤厚松葉景天盤底	35.4		-0.328	
9 月 25 日	1cm 土壤厚鵝鑾鼻燈籠草盤底	37.7		12.370	
	1cm 土壤厚鋪地錦竹草盤底	35.9	0.010	7.396	0.000
	1cm 土壤厚松葉景天盤底	36.1		4.169	

1. 溫度單位：℃；熱流單位：W/m²

2. p<0.05 表示差異達顯著水準。

表 7. 土層厚 3cm、5cm 的薄層綠化盤之熱傳導係數

Table 7. Thin-layer plate in the layer thick green 3cm, 5cm of thermal conductivity

	土層厚 3cm 的鵝鑾鼻燈籠草綠化盤	土層厚 5cm 的鵝鑾鼻燈籠草綠化盤	土層厚 3cm 的鋪地錦竹草綠化盤	土層厚 5cm 的鋪地錦竹草綠化盤	土層厚 3cm 的松葉景天綠化盤	土層厚 5cm 的松葉景天綠化盤
所有熱傳導係數平均	-0.066	-0.036	-0.024	-0.018	-0.076	0.038
正值的熱傳導係數平均	0.130	0.036	0.250	0.240	0.151	0.061

結 論

一、屋頂薄層綠化可降低建築屋頂之地板表面溫度

隨著當日氣溫的增加，地板表面溫度變化量差異可高達 14.9°C，鋪地錦竹草、松葉景天、鵝鑾鼻燈籠草各自在土層厚 1cm、3cm、5cm 的薄層綠化盤盤底的溫度變化皆低於 7°C。且薄層綠化盤各測點間溫度起伏的趨勢比地板表面溫度緩和。再者，松葉景天在土層厚 5cm 的薄層綠化盤可降低地板溫度 23.3°C；鵝鑾鼻燈籠草在土層厚 5cm 的薄層綠化盤可降低地板溫度 15.2°C。因此，薄層綠化盤可降低建築屋頂之地板表面溫度，改善屋頂熱環境。

二、薄層綠化盤會因土層厚度與植栽的不同，對地板表面降溫效果差異顯著

相同植栽在土層厚 1cm、3cm、5cm 的綠化盤盤底溫度和熱流，經由單因子變異數分析得知，皆有顯著差異。因此，溫度與熱流的傳導有正相關。相同植栽的溫度和熱流變化，會隨 1cm、3cm、5cm 的土層厚而改變。土層厚度越厚，熱流傳導少，溫度也越低。所以，相同植栽在土層厚 5cm 的綠化盤熱傳最低；其次是在土層厚 3cm 的綠化盤；在土層厚 1cm 的綠化盤的熱傳最高。而不同植栽在相同厚度，會因植栽的不同，生長形態的不同，熱傳也會有影響。所以，鋪地錦竹草、松葉景天、鵝鑾鼻燈籠草在相同厚度的熱傳效應實驗結果，鋪地錦竹草熱傳最高；其次為松葉景天；最後是鵝鑾鼻燈籠草熱傳最低。

三、藉由熱傳導係數瞭解薄層綠化盤導熱的速度及能力

熱傳導係數是物質材料的熱傳輸性質，可視為材料熱傳輸快慢的指標。熱傳導係數越小，導熱能力就差，則隔熱能力強。因此可知，相同植栽在土層厚 3cm 和 5cm 的綠化盤上，土層厚 5cm 的鵝鑾鼻燈籠草綠化盤與土層厚 5cm 的松葉景天綠化盤之隔熱能力皆比土層厚 3cm 的綠化盤之隔熱能力好。而土層厚 5cm 的鋪地錦竹草綠化盤與土層厚 3cm 的鋪地錦竹草綠化盤之隔熱能力只差 0.01 W/mK。而不同植栽在相同土層厚的薄層綠化盤以土層厚 5cm 的鵝鑾鼻燈籠草綠化盤隔熱最好。因此，在薄層綠化的植栽設計上，選擇鵝鑾鼻燈籠草和松葉景天植栽，其理想土層為 5cm，隔熱最好。而選擇鋪地錦竹草植栽則可用土層厚 3cm。

四、薄層綠化在土層非含水率飽和狀態且薄層的情況下，會產生熱逆流傳導的問題

在本實驗的土層厚 1cm、3cm、5cm 的薄層綠化盤熱流的量測結果，產生熱逆流傳導的問題。也就是說過薄的土層，其土壤水份蒸散，造成土壤乾燥，對太陽輻射量的吸收會快速達到飽和，然後將熱釋放出來，以及實驗箱累積的蓄積熱，到最後會高過空氣的溫度。薄層綠化盤的溫度比空氣中的溫度還高時，產生熱逆流傳導現象。表示薄層綠化盤除了本身是個熱源以外，還會將地板的蓄積熱帶走，若非有機物質則無法將熱帶走。所以，在具有水份的有機物質其隔熱能力比其他隔熱磚等材質效果好。

也瞭解到建築物在每天日晒的情形下，其實蓄積了非常大的熱量，而這些熱量就是造成人們消耗冷氣能源的原因。因此，對於建築屋頂的熱環境，除了隔熱之外，最主要的是

不要讓建築蓄積太多的熱量。所以，不要讓熱量傳入建築內是非常重要的，而不是當熱量已經進入室內才進行降溫。

參 考 文 獻

- 江哲銘。2007。建築物理。三民書局股份有限公司。
- 周鼎金。1995。建築物理。茂榮圖書有限公司。
- 三輪隆。2006。屋上綠化（技術手帳）。土と基礎 54(10)：25-26。
- 小峰正之、森本淳子、勝野武彦。2005。海浜植物ハマボウフウによる屋上綠化を目的とした植栽実験。日緑工誌 31(1)：21-26。
- 近藤三雄、佐々木 辰夫、柳田友隆、小沢知雄。1988。薄層化・超軽量化した人工地盤条件下における綠化用植物の成育可能性について。造園雜誌 51(5)：186-191。
- 垣鍔直、溝口忠、雨海清一郎、石橋龍吉。2004。薄層屋上綠化ユニットの熱的性能に関する実験的研究。日本建築学会環境系論文集第 578 号：79-84。
- 森本文。2004。屋上綠化による建物内外への熱環境改善効果に関する実験的研究。大阪市立大学大学院都市系修士論文。
- 飯島健太郎、近藤三雄。1993。乾燥条件下におかれる都市綠化空間へ導入可能な多肉植物。造園雜誌 57(2)：129-134。
- Dunnett, N. and N. Kingsbury. 2004. Planting green roofs and living walls. Timber Press, Inc., Portland, Ore.
- Durhman, A.K., D.B. Rowe, and C.L. Rugh. 2007. Effect of substrate depth on initial growth, coverage, and survival of 25 succulent green roof plant taxa. HortScience. 42(3):588-595.
- Getter, K. and D.B. Rowe. 2006. The role of extensive green roofs in sustainable development. HortScience. 41(5):1276-1285.
- Getter, K.L. and D.B. Rowe. 2008. Media depth influences Sedum green roof establishment. Urban Ecosystems. 11:361-372.
- Sailor, D. J., D. Hutchinson, and L. Bokovoy. 2008 Thermal Property Measurements for Ecoroof Soils Common in the Western U.S. Energy and Buildings. 40:1246-1251.

Study of Thermal Effects of the Drought-enduring Plants on Thin-layer Green Roof

Hsiang-Ping Lien ¹⁾ Tung-Chi Liu ²⁾

Key words: Thin-layer green roof, Drought-enduring plants, Thermal conductivity

Summary

The purpose of this study is the selection of drought-tolerant plants suitable for thin-layer green roof, and different plants in different soil thickness of the thin-layer green plate of heat conduction efficiency. From this study to find in Taiwan as a thin layer applied on the basis of green technology. The results of this study showed that thin-layer green roof can reduce the roof surface temperature of the floor. In the soil thickness 5cm of the thin-layer green plate can reduce the temperature of 23.3°C. The thin-layer green plates because of different soil thickness and plants, so the floor surface of the cooling effect of the significant differences. Then, through the thermal conductivity to understand of the thin-layer green plate of heat transfer rate and capacity, that the soil thickness 1cm of the best insulation green plate is *Kalanchoe garambiensis* Kudo; followed by the soil thickness 5cm of the *Sedum mexicanum* green plate; finally, there is the soil thickness 5cm of the *Callisia repens* L. green plate. Therefore, the thin-layer green of summer heat energy conservation in buildings in Taiwan is an effective way to reduce carbon, and should promote the importance of greening.

1) Graduate Student, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

2) Assistant Professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

Corresponding author.