

# 逢甲大學學生報告 ePaper

## 以綠屋頂建構生態化校園

### Green roof construction of ecological campus

作者：賴威儀、劉韋廷、李奕欣

系級：水利工程與資源保育學系四年甲班

學號：D9767973、D9768159、D9736823

開課老師：張嘉玲

課程名稱：專題實驗

開課系所：水利工程與資源保育學系

開課學年：100 學年度 第一學期



## 中文摘要

由於人口漸增，都會區的人口過於集中，導致許多建築物、人工建設，將綠地和植物覆蓋面積不斷減少，造成氣候都市化與熱島效應，所以希望能將做到「自然帶回城市」，將滿是高樓大廈的都市，經過一些巧思來推動綠化之工作，也可改善人們生活之環境。本研究可得出：1. 屋頂表面培養土並種植台北草植栽層、斑葉佛手香植栽層、圓葉景天栽層可有降低平屋頂下方室內空氣溫度，調節建築物室內熱環境，達到減少電能消耗。2. 可計算綠建築基地保水，可將雨水保留起再利用之多寡。3. 可計算出減量多少  $\text{CO}_2$ ，達到節能減碳之功能。利用這些植栽來達成減緩熱島效應，並且綠化都市，與自然共舞。

**關鍵字：**綠屋頂、生態綠校園、綠建築



## Abstract

Excessive concentration of population in the metropolitan area because population growth. Many buildings and artificial construction has led to green and steady decline in plant cover. It's led heat island effect happen. We want reduce the buildings and Increase the green to improve the living environment. In this study, we can find three points. 1. Covered with soli and planted Mascarene grass , Patchouli grass or Sedum makinoi grass can regulate indoor thermal environment and reduce power consumption. 2. We can calculate how much water is retained on the roof led to recycling. 3. Calculate can reduce how much CO<sup>2</sup>. Use these plants to slowing heat island effect and Greening city.

**Keyword** : Green roof 、 Green school 、 Green Building



## 目 次

一、前言.....	4
1.1 研究動機.....	4
1.2 研究目的.....	4
1.3 研究架構.....	4
二、文獻回顧.....	4
2.1 綠環境.....	4
2.2 生態綠校園.....	4
2.3 綠屋頂效益.....	5
2.4 綠屋頂形式.....	6
2.4.1 薄層式綠屋頂.....	6
2.4.2 盆栽式綠屋頂.....	6
2.4.3 庭園式綠屋頂.....	6
2.5 國內溫度研究.....	7
三、研究方法.....	8
3.1 場址介紹.....	8
3.2 綠屋頂設置.....	8
3.3 溫度監測規劃.....	9
3.4 綠屋頂效益評估方法.....	9
四、結果與討論.....	10
4.1 環境監測記錄.....	10
4.2 估算效益.....	11
五、結論與建議.....	12
5.1 結論.....	12
5.2 建議與後續研究.....	13



## 一、前言

### 1.1 研究動機

台灣近來都市化嚴重、資源過度開發利用，人類無限制的消耗能源衍生的結果則是產生大量的二氧化碳，都市上空塵罩使得太陽輻射熱與人工釋出熱量都不易消散，進而產生都市「熱島效應」。除上述熱島效應外，傳統集中末端處理的排水觀念，使得都市屋頂缺乏保水機能，故應重新考量建築屋頂與水循環之關係，試圖建立與環境互動良好的建築，進而達到與環境共生之都市。

### 1.2 研究目的

隨著人們對於生態環境的重視及越來越注重生活品質的情況下，綠屋頂逐漸被人們所熟悉，現在台灣已經陸續出現許多成功的實際案例，人們對綠建築的接受度也慢慢提升，而綠屋頂不僅符合節約能源，也充分發揮環境永續發展的精神，是未來綠建築的趨勢之一(陳瑞鈴,2009)。

透過本校園設置的綠屋頂，實際進行室內外溫差的量測，探討出綠屋頂的環境效益，評估綠屋頂對於降溫的效果以及其它效益，並建立對照組以比較不同植栽作物的影響力。

### 1.3 研究架構

先從綠環境、綠校園的概念與種類進入，了解綠屋頂的起源、演變、形式及傳統屋頂的差異，並藉由國內外的實際案例和趨勢找出因地制宜的植物及材料，最後進行測量場址及溫度監測，經由經驗公式分析出此綠屋頂可能達到的效益。

## 二、文獻回顧

### 2.1 綠環境

綠環境概念是集合環境、能源、生態與生活為一體的概念，以一個生態系統的方向來看資源和保護環境的目的是考慮整個生態系統的複雜的相互關係。每項人為建設活動都會帶給環境與生態一定的衝擊，綠環境概念就是要把這些衝擊性減到最低，創造出一個可以永續生活的環境。

### 2.2 生態綠校園

由於土地資源過度開發，工業區面積增加以及都市人口密度升高，使得現有綠地面積不斷減少，在都市生態永續發展的考量下，學校已由教育性公共設施中納入台灣地區現行綠地系統資源內，成為有效建構都市綠地生態網路的一環(何晨瑛,2004)。根據楊錦緞(2005)的研究，學校校園的空間規劃及營建管理等必須符合環境保護及教育的要求，達到省能源、省資源、乾淨舒適的目標，鼓勵師生參與規劃及維護的工作。

校園之規劃需考量以下幾點設計原則：

- (1) 確保安全、健康及舒適的無障礙環境
- (2) 落實高效能、彈性化且符合機能的教學環境

## 以綠屋頂建構生態化校園

- (3) 營建可供作社區終身學習及景觀地標之核心設施
- (4) 符合綠建築之綠化量指標
- (5) 創造令人愉快的景觀空間，豐富使用者視野
- (6) 人綠共生的自然環境，提供理想的校園研究環境
- (7) 大量綠化可調節週邊氣溫，降低校舍溫度並節省冷氣使用
- (8) 長期維護容易
- (9) 施工便利，建設成本低廉

### 2.3 綠屋頂效益

綠屋頂在近幾年的演變過後，專家們研究出綠屋頂所能帶來的效益。已經不只防止火災這項功能，而是還有其它更有效益的作用。(IGRA, 2011)

#### (1) 提高建築物的使用年限

一個裸露的平面屋頂即使有專業的建造也只有 15 至 25 年的使用年限。這是由於屋頂上多年來物理、化學和生物作用在劇烈的溫差影響，以及在強烈的紫外線照射下。結果材料形成疲勞、萎縮、裂紋的形成和洩漏，綠屋頂提供防水保護，植被層的緩衝區在夏季和冬季的溫度差異。此外綠屋頂，還可以降低冰雹、強風……對屋頂的損壞。

#### (2) 降低噪音減低電磁波

綠屋頂可減少高達 3 分貝的聲波反射，提高至 8 分貝的隔音。這對住機場附近、吵雜的舞廳或工業園區附近的人很重要。此外，植被層還可以屏蔽電磁波。

#### (3) 降低溫度

綠屋頂在夏季可透過蒸發降低室內的溫度。據測試屋頂下方的室內溫度可降低至與一樓地板的溫度相近，因此能減少空調使用和能源消耗。

#### (4) 空間利用

綠屋頂可以提供頂樓各種用途可能性。例如：休閒性屋頂花園、屋頂咖啡館和體育空間。如果建築物的技術和施工要求能滿足，景觀設計能用多年生植物、小喬木、梯田或花園來設計。由於利用屋頂屬性，樓宇業主可節省在地面上購買額外的土地成本。在大都市寸土寸金的地方，能夠把每塊土地都發會到最大的利用效率。

#### (5) 動植物的自然棲息地

人類建設活動對生態系統和人類的棲息地都會有一些負面影響，尤其是在都市地方更為顯著。都市土地大部分都被水泥給密封起來，綠屋頂可以彌補失去的綠化地方。開闊式綠屋頂特別能促進生物多樣性，提供野生蜜蜂，蝴蝶和甲蟲尋找食物和住所。綠屋頂的植物生長、自我播種、並強調選擇自然循環生態系統具有獨特的性格，即使是稀有的動植物也要順其自然。

#### (6) 雨水保留

保留雨水是綠屋頂重要的施工項目。根據綠屋頂的系統和生長介質的深度，可減少 50-90% 即時徑流量。大部分水直接以蒸發散返回到自然的水循環。當降雨量大時，綠屋頂可以過濾的雨水，延遲排水時間，降低下水道排水系統的壓力。

## 以綠屋頂建構生態化校園

### (7) 降低都市熱島效應

都市地區大部分為不透水的水泥或柏油鋪面，包括建築物、廣場與路面…等，這些硬體吸收太陽輻射熱，入夜以後熱量逐漸釋放，至翌日清晨才完成散熱，形成城市和周圍的農村之間的溫度的「都市熱島效應」。在鄉村綠地和公園多的地方，可以吸收高達 80% 的太陽輻射熱產生與都市 10°C 的溫差，可以說是天然的“空調”。但在人口稠密高的地方，綠色的地區是很罕見的。因此綠屋頂可以把消失的綠地找回來，進而降低都市熱島效應的現象。

### (8) 提升空氣品質

經過研究證明，空氣污染可能會嚴重導致健康不良的影響，特別是碳氧化合物，它是有機揮發性化合物，主要來自汽機車廢氣。綠屋頂每年在 1m<sup>2</sup> 的範圍內可以過濾約 0.2 公斤氣溶膠灰塵和煙霧顆粒。

### (9) 城市風景

綠屋頂還可以為單調的灰色都市景觀，增加一些其它的色彩，讓都市看起來更活力、更漂亮。

## 2.4 綠屋頂形式

在內政部建築研究所的研究並依規劃設計內容、施工方法、使用材料及維護管理需求區分：庭園型、盆栽組合型及種植薄層型屋頂綠化。由於薄層型屋頂綠化定義廣泛，如塗料相關隔熱產品或人工草皮等，為強調此薄層型屋頂綠化以種植植栽為主，故以「種植型薄層屋頂綠化」稱之。

### 2.4.1 薄層式綠屋頂

簡介：可用於平面或傾斜式的屋頂。綠化以低成本、低養護為原則，使用植物的滯塵和控溫能力要強。以建築自身條件，儘量達到植物種類多樣，綠化層次豐富，生態效益突出的效果。植物選擇原則遵循植物多樣性和共生性原則，以生長特性和觀賞價值相對穩定、滯塵控溫能力較強的本地常用和引種成功的植物為主。

優點：施工簡單可以使用在承重條件苛刻的建築物屋頂、維修管理容易、價格較低廉、平面或傾斜 45° 內的斜屋頂皆可施作。

缺點：植栽多低矮且植物種類較單純，無法提供多層次與豐富棲息空間，故生態性較不足。因介質淺薄，保水力較低，較適合耐旱性的植物。

### 2.4.2 盆栽式綠屋頂

簡介：使用各種盆栽器植物，依容器尺寸、大小與植物種類高度、質感，將盆栽組合排列，使景緻優美。盆栽可使用較深的容器盛裝保水力強的介質(遠赫 野說館，2011)。

優點：容器與介質材料取得容易，能自行操作施工。盆器具可移動性，可因應植物生長狀況調整擺放位置。植物種類適合進行多樣化栽培。根系伸出盆底排水孔時會因「空氣切根」作用阻礙繼續伸展，較無根系破壞結構之虞。盆栽可使用較深的容器盛裝保水力強的介質。

缺點：植物生長根系受侷限、需定時換盆以促進植物生長、不易種植較大樹木、澆水費工且物種愈多樣，照顧愈費心力。

### 2.4.3 庭園式綠屋頂

簡介：庭園式綠屋頂的底層較深，因此可以使用廣泛的植物種類或樹木和灌木以及多年生植

## 以綠屋頂建構生態化校園

物，草和一年生植物。現代的庭園式綠屋頂可以在視覺和環境令人賞心悅目，可依主題呈現日式禪意、熱帶風情、中國山水等不同風格。或以植物應用為主，呈現廚房菜園、療癒庭園、自然庭園等內涵。(遠赫 野說館, 2011)。

優點：景觀效果佳、植物層次豐富、完整性高、介質體積較大，根部較可充分伸展。

缺點：設計施作較耗時費力、資材搬運不易。維護管理 需要較高技術、萬一結構有滲水等問題時，處理較困難。

## 2.5 國內溫度研究

經由國立高雄大學蘇榮宗(2009)的研究，發現綠屋頂土壤厚度與溫度有特殊的關係。

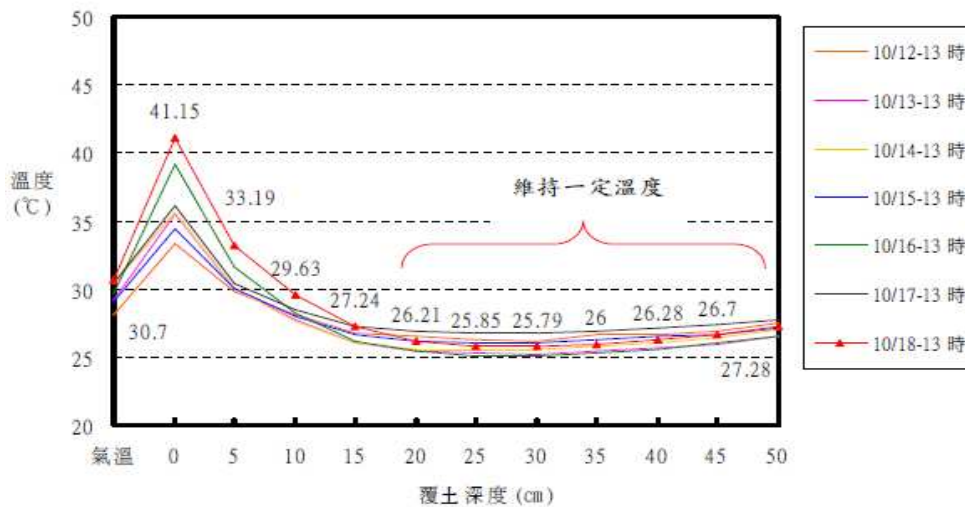


圖 4 無植草組連續 7 日期間在 13 時的土壤溫度變化比較(蘇榮宗 2009)

由上圖我們發現，土壤厚度在大於 20cm 後，溫度會維持一定的溫度。若應用到綠屋頂上，土壤的厚度對於屋頂與室內的溫度會有重要的關係。

### 2.8.2 植栽樣式跟溫度關係

由朝陽科技大學林佩均(2011)的研究，整理出不同樣式的綠屋頂，對室內的溫度有不同的影響。

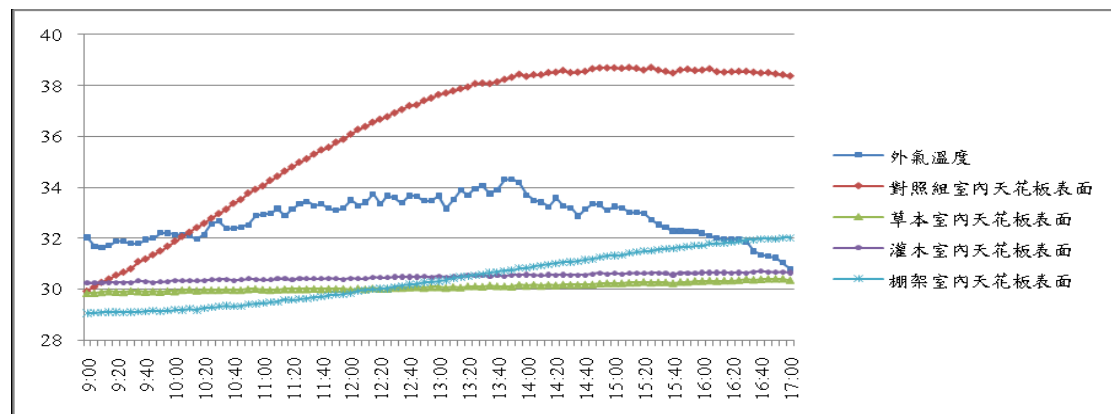


圖 5 不同綠屋頂施作後之室內屋頂溫度(林佩均 2011)

表 1 外氣最高溫度與室內天花板表面最高溫度分析



## 以綠屋頂建構生態化校園

項目	最高溫度 (°C)	溫度差 (°C)
外氣	34.3	0
裸露土層	38.7	-4.4
草本	30.4	3.9
灌木	30.7	3.6
棚架	32	2.3

由表1整理數據分析，得知裸露土層室內天花板與室外溫度差-4.4°C；草本室內天花板與室外溫度差3.9°C；灌木室內天花板與室外溫度差3.6°C；棚架室內天花板與室外溫度差2.3°C

### 三、研究方法

#### 3.1 場址介紹

本研究區域位於台中市的逢甲大學的科學與航太館，本館建於2005年6月，為地上8層，地下2層的RC建築，研究地點為科學與航太館的屋頂，屋頂總面積約744.75m<sup>2</sup>，綠屋頂設置佔432 m<sup>2</sup>，約為總面積的58%。



圖 6 科學與航太館頂樓施工前



圖 7 科學與航太館頂樓施工後

#### 3.2 綠屋頂設置

本研究中的綠屋頂設置如圖 6，分割為 ABCD 四個區塊，種植不同的綠化植物，A 為台北草，特性為耐旱性強，生長速度中慢穩定，草層密集平坦，需修剪次數少。B 為多肉植物，是使用率最高的薄層式綠屋頂植物材料，具有植株低矮、葉片緻密多肉化等特徵。C 為景天類植物，生命力非常強，繁殖速度快，具有良好的高覆蓋率，生長勢強，不受其它植栽侵入影響。D 為空白區，只鋪上介質土壤，不種植任何作物，作為對照組用，並以碎石區作為間隔。

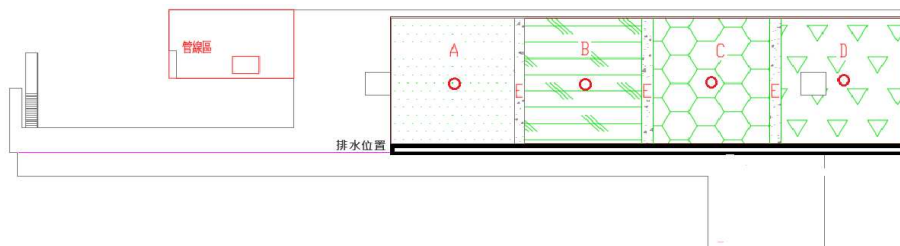


圖8綠屋頂設置平面圖

### 3.3 溫度監測規劃

綠屋頂工程未完成之前，先用 GPS 定位屋頂上 4 個點，以及科學與航太館八樓室內 5 個點，每天固定下午兩點時間去量測各點的溫度，以做綠屋頂完工後的對照資料。

### 3.4 綠屋頂效益評估方法

在綠屋頂完工之前，我們可以利用下以公式或資料來推估綠屋頂的效益。像是可以保留多少雨量、減少 CO<sub>2</sub> 及屋頂降溫效果。

#### (1) 綠建築基地保水指標

表2 各類保水設計之保水量計算方式一覽表

項目	各類保水設計之保水量 $Q_i$	保水量計算公式	變數說明
常用水設計	綠地、被覆地、草溝保水量 $Q_1$	$Q_1 = A_1 \cdot k \cdot t$	$A_1$ ：綠地、被覆地、草溝面積 ( $m^2$ )，草溝面積可算入草溝立體周邊面積。
	透水鋪面設計保水量 $Q_2$	$Q_2 = A_2 \cdot k \cdot t + 0.1 \cdot h \cdot A_2$	$A_2$ ：透水鋪面面 ( $m^2$ ) $h$ ：透水鋪面基層厚度 (m)
	人工地盤花園貯集設計保水量 $Q_3$	$Q_3 = 0.05 \cdot V_3$	$V_3$ ：人工地盤花園土壤體積 ( $m^3$ )
特殊水設計	地面貯集滲透設計保水量 $Q_4$	$Q_4 = A_4 \cdot k \cdot t + V_4$	$A_4$ ：貯集滲透空地面積或景觀貯集滲透水池可透水面積 ( $m^2$ ) $V_4$ ：貯集滲透空地可貯集體積或景觀貯集滲透水池高低水位間之體積 ( $m^3$ )
	地下礫石滲透貯集保水量 $Q_5$	$Q_5 = (A_5 \cdot k \cdot t) + 0.2 \cdot V_5$	$A_5$ ：礫石貯集設施地表面積 ( $m^2$ ) $V_5$ ：礫石貯集設施體積 ( $m^3$ )
	滲透排水管設計保水量 $Q_6$	$Q_6 = (2.0 \cdot k \cdot L \cdot t) + (0.069 \cdot L)$	$L$ ：滲透排水管總長度 (m)
	滲透陰井設計保水量 $Q_7$	$Q_7 = (3.0 \cdot k \cdot n \cdot t) + (0.015 \cdot n)$	$n$ ：滲透陰井個數
	滲透側溝保水量 $Q_8$	$Q_8 = (2.0 \cdot k \cdot L \cdot t) + (0.057 \cdot L)$	$L$ ：滲透側溝總長度 [m]
	其他保水設計 $Q_n$	由設計者提出設計圖與計算說明並經委員會認定後採用之	

資料來源：內政部建築研究所

#### (2) 基地綠化之 CO<sub>2</sub> 固定量

「綠建築解說與評估手冊」對於綠建築中的綠化量獎勵基準，希望能夠在基地內最小綠地面積  $A'$  內實施全面綠化，而且單位綠化面積的 CO<sub>2</sub> 固定量計算值必須大於基準值 600 ( $kg/m^2$ )。其最小綠地面積  $A'$  以及建築基地中的總綠化量所換算的 CO<sub>2</sub> 固定量  $TCO_2$  依下列公式計算之。

## 以綠屋頂建構生態化校園

表3 台灣各種植栽單位面積四十年CO2固定量〔kg/m<sup>2</sup>〕

植栽種類		CO2 固定量
生態複層綠化	大小喬木、灌木、花草密植混種區(喬木平均種植間距3.0m 以下、土壤深度1.0m 以上)	1100
密植喬木	密植喬木大小喬木密植混種區(平均種植間距3.0m 以下、土壤深度0.9m 以上)	900
疏種喬木	闊葉大喬木(土壤深度1.0m 以上)	808
	闊葉小喬木、針葉木或疏葉形喬木(土壤深度1.0m以上)	537
	大棕櫚類(土壤深度1.0m 以上)	410
密植灌木叢(高約1.3m, 土壤深度0.5m 以上)		438
密植灌木叢(高約0.9m, 土壤深度0.5m 以上)		326
密植灌木叢(高約0.45m, 土壤深度0.5m 以上)205(灌木叢標準值)		205
多年生蔓藤(以立體攀附面積計量, 土壤深度0.5m 以上)		103
高草花花圃或高莖野草地(高約1m, 土壤深度0.3m 以上)		46
一年生蔓藤、低草花花圃或低莖野草地(高約0.25m, 土壤深度)		14
人工修剪草坪		0

資料來源：綠建築解說與評估手冊，2003 年更新版

## 四、結果與討論

### 4.1 環境監測記錄

此資料為監測無綠屋頂的情況下，下午兩點屋頂以及科學與航太館八樓室內的溫度。以探討各季節室內與室外溫度所顯現之特性，並且可做為綠屋頂完工後的溫度資料對照組。

經過資料統計後，發現春季與夏季的室外內溫度有呈現不同趨勢。春季3~5月時，所得到相關係數的平方值0.777，與夏季6~8月的0.412還要高很多。因此在強烈的太陽光照射下，室內與室外的溫度會以不規律的起伏，造成室內與室外的溫差變大。此現象可以當作綠屋頂完工後的研究方向，觀察綠屋頂對室內外溫差的影響。

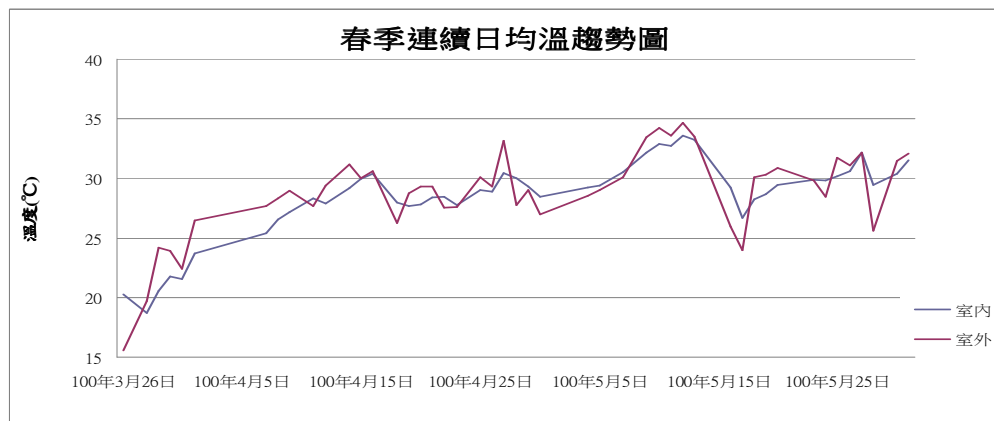


圖9 春季溫度趨勢圖

## 以綠屋頂建構生態化校園

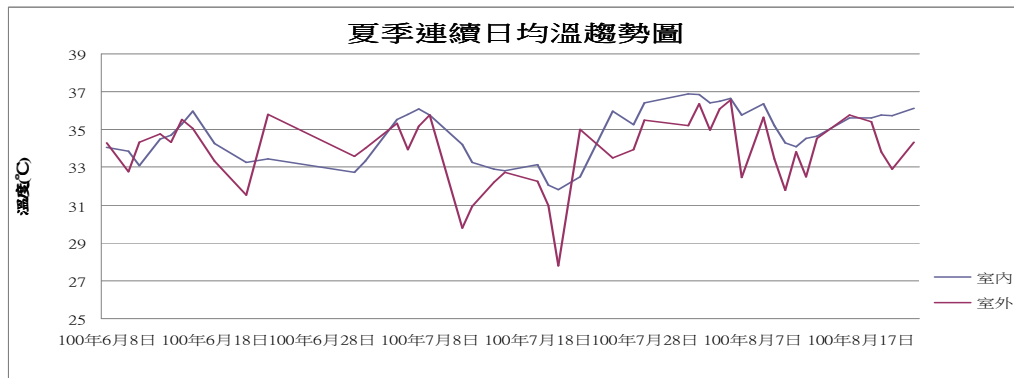


圖10夏季溫度趨勢圖

### 室內外溫度統計

下表4是2011年4月到2011年8月統計溫度監測數據，由數據指出，屋頂受過日照之室內溫度會比室外還要高。證實了屋頂表面會吸收太陽輻射熱，經由熱流傳導進室內，而使室內溫度升高。但又因室內不通風最後導致室內溫度比室外高。

表4 每月溫度統計

月份	四月 平均溫度	五月 平均溫度	六月 平均溫度	七月 平均溫度	八月 平均溫度	加總 平均溫度
室內	28.224	30.480	34.240	34.094	35.713	31.480
室外	28.837	30.514	34.178	33.084	34.450	31.231
溫差(室內-室外)	-0.613	-0.034	0.062	1.010	1.263	0.249

## 4.2 估算效益

以本實驗場址的施工方式、種植植物及綠化面積，來估算出日後對屋頂溫度、植物固碳量與滯流雨水量的效益。

### 4.2.1 基地保水計算

此計算式，適用於評估當降雨時，實驗場只能夠保留多少雨量。可減少雨水直接進入下排水道，降低排水道的負擔。

#### (1) 實驗場址基本資料

基地構造:RC

- a. 屋頂總面積約：744.75m<sup>2</sup>
- b. 綠屋頂設置佔：432 m<sup>2</sup>
- c. 鋪設植栽面積 324 m<sup>2</sup>
- d. 法定建蔽率：50%
- e. 透水鋪面基層厚度h:0.15m
- g. 最大降雨延時基準值t。標準值為158400sec
- g. 土層類別:具良好之排水與通氣性、保水能力和保有養份  
最大降雨延時基準值 t。標準值為 158400sec

#### (2) 土地滲透係數k判斷

土壤底層屬性為良好之排水與通氣性、保水能力和保有養份特性，且不會凝結或被吹走，並提供植物良好穩定性，滲透係數k值為10<sup>-5</sup>m/s。

#### (3) 實驗場址保水計算

- a. 透水鋪面設計保水量Q2
- A<sub>2</sub>: 透水鋪面 (m<sup>2</sup>) =108m<sup>2</sup>



## 以綠屋頂建構生態化校園

$$Q2=A2 \cdot k \cdot t+0.1 \cdot h \cdot A2 \quad 108 \cdot 10^{-5} \cdot 158400+0.1 \cdot 0.15 \cdot 108=172.692\text{m}^3$$

b. 人工地盤花園貯集設計保水量 Q3

$$Q3=0.05 \cdot V3=0.05 \cdot 48.6=2.43 \text{ m}^3$$

各類保水設計之保水量  $\Sigma Q=Q2+Q3=175.122\text{m}^3$

### 4.2.2 碳固定量計算

此計算式，是以各種植栽單位面積四十年 CO<sub>2</sub> 固定量計算之。

(1) 實驗場址基本資料

a. 屋頂總面積 744.75m<sup>2</sup>

b. 綠屋頂設置佔 432m<sup>2</sup>

c. 鋪設植栽面積 324m<sup>2</sup>

d.  $\alpha$  因無特殊植栽=1.0

e. 栽種類之單位面積 CO<sub>2</sub> 固定量 (kg/ m<sup>2</sup>) (參考表3)

馬尼拉草、斑葉到手香、圓葉景天三種都屬一年生蔓藤、低草花花圃或低莖野草地所以採用 CO<sub>2</sub> 固定量為14。

(2). 「綠化指標」計算：

$$TCO2 = (\Sigma Gi \times Ai) \times \alpha \quad TCO2 = 108 \times 14 + 108 \times 14 + 108 \times 14 = 4536 \text{ kg}$$

由此可推算，此場址在未來 40 年可以減少 CO<sub>2</sub> 量 4536 kg

### 4.2.3 節省電費計算

此計算是經由朝陽科技大學林珮均(2011)的研究資料，與本研究計劃整合析。本研究計劃是使用馬尼拉草、斑葉到手香、圓葉景天都屬於草本植物，所以選用林珮均(2011)室外氣溫與草本植物天花板的資料，與本計畫是施工前紀錄溫度(表 4)比較。

表 5 室外 34~35 度時的室內外溫度紀錄

日期	2011/6/8	2011/6/11	2011/6/13	2011/6/14
室內	34.0	33.1	34.5	34.7
室外	34.3	34.4	34.8	34.4
日期	2011/8/3	2011/8/13	2011/8/15	2011/8/22
室內	36.4	34.7	33.9	36.1
室外	35.0	34.6	34.7	34.3
平均	室內	34.7	室外	34.5

由表 5 我們可以得知，在溫度在 34~35 之間時，綠屋頂施工前室內與室外溫度幾乎一樣。在配合林珮均(2011)的研究，我們預估施工完後可使室內溫度將低至 30.8℃。

跟據教育部節能減碳資訊平台，冷氣溫度每調下降 1 度，就必須多增加 6% 用電量，相對提高一度，就可以節省 6% 用電量。這個計畫預計可以使內溫度將低大約 4℃，因此在使用空調時，可以比綠屋頂施工前減少 24% 的電量。

由會計室得到水電費支出的資料，99 年的電費支出為 77,269,725 元，評估冷氣電費佔總電量的 10%，得電費為 7,726,972，經由綠屋頂建設完成後預估可減少 1,854,473 元。

## 五、結論與建議

### 5.1 結論

本研究的實驗溫度測量資料，主要都是綠屋頂完工前的資料，所以沒有辦法比較綠屋頂完工

## 以綠屋頂建構生態化校園

的溫度比較。但還是可以評估之後所帶來的效益與功用。

### (1) 夏季是內外溫度起伏不規則

經過 2011 年 4 月到 2011 年 8 月的溫度監測，發現夏季時的室內外溫起伏差關係比春天還要低。這說明了，在天氣熱的時候裸露的屋頂會造成室內外溫差出現很不規則的起伏。

### (2) 屋頂受日照後，室內溫度平均高於室外氣溫 0.27 度

本研究在屋頂綠化前，藉由室外氣溫與室內氣溫比較，證實了屋頂表面會吸收太陽輻射熱，經由熱流傳導進室內，而使室內溫度升高。但又因室內通風不佳，最後導致室內溫度比室外高。

(3) 本實驗場址完工後，在 40 年內可以減少 CO<sub>2</sub> 量 4536 kg。並且可以保水 175.122 m<sup>3</sup>，進而降低排水道的壓力。

本實驗場址的完工後的情況，在參考「綠建築解說與評估 手冊-2005 年更新版」裡面的資料來計算，在未來 40 年可以降低 CO<sub>2</sub> 量。以及在降雨時，能夠保留多少雨水，而降低排水洪峰壓力。

(4) 本實驗場址完工後，對科學與航太館 8 樓使用空調時，可以減少 24% 的電費使用。

本實驗場址的完工後與林嫻均(2011)的資料比較，我們推估可以使室內溫度降低 4 度。而每降低溫度一度，可使冷氣電能消耗率減少 6%，進一步算出當綠屋頂完工後可減少冷氣 24% 的電能消耗。

## 5.2 建議與後續研究

本研究進行實地測量在縝密的規劃及執行之下，仍有未完善之處，且人力、物力及時間有限，因此，提出下列未來可進行之研究方向，以提升綠屋頂未來發展性，其內容如下：

(1) 依據本研究實驗資料得知，綠屋頂可以降低排水道洪峰流量，減少淹水發生的情形，可以在未來發展都市計劃作為參考。

本研究發現綠屋頂除了可以美化都市外，還可以在降雨時把雨水保留在土裡，使雨水不會馬上就隨排水系統排到下水道。這樣可以降低排水道的洪峰量，減少淹水的機會，可以做為解決淹水情況的方法之一。

(2) 考量其它屋頂型式以及有遮蔽陰影的植物。

本研究只真對較低矮的植物進行，並且只選薄層式綠屋頂作為探討，未來可以選用其它形式來做研究。並且選有遮蔽陰影的植物來栽種，探討當有陰影與沒陰影的植物，對屋頂的溫度有何影響。

(3) 考量土壤深度及土壤濕度測量。

本研究為減輕屋頂荷重，土壤深度僅考量植栽可生存之土壤厚度，而土壤濕度於本研究中未探討。藉由相關研究得知土壤深度與溼度為影響屋頂隔熱效果重要因素之一，因此，應可進一步探討不同土壤深度之隔熱效果以及進行土壤濕度測量，找出綠屋頂降溫的其他因素。

(4) 考量成本效益。

在本研究中未探討綠屋頂成本效益，因此，應可進一步探討植栽維護及灌溉水量、空調耗電量及綠屋頂隔熱成本回收時間等之成本效益，提供未來施作綠屋頂之參考依據，提升綠屋頂施作之廣泛性。

## 參考文獻

### 中文部份

1. 內政部建築研究所委託研究報告(2010),「屋頂綠化建構技術研究」
2. 內政部營建署(2011),「建築基地保水設計技術規範」
3. 台北市中山區公所、台北市信義區公所、台北市瑠公農田水利會、台北市錫瑠環境綠化基金會(2008),「綠屋頂推廣交流討論會資料」
4. 台北市瑠公農田水利會、台北市錫瑠環境綠化基金會、臺北市中山區公所、台北市景觀工程商業同業公會(2010),「節能減碳、永續 270『都市新田園』綠屋頂、綠牆推廣展示活動資料」
5. 何晨瑛(2004),「台灣綠色小學校園生態環境現況解析之研究」,國立成功大學建築研究所碩士論文
6. 林佩均(2011),「不同屋頂綠化型式對屋頂隔熱效果影響之研究-以草本、灌木及棚架為例」,私立朝陽科技大學建築及都市設計研究所碩士論文
7. 徐秀梅(2006),「工業區於綠建築綠化量與基地保水指標應用之研究」,私立逢甲大學建築學系碩士班碩士論文
8. 許瑞銘(2006),「屋頂綠化熱效益之研究」,私立朝陽科技大學建築及都市設計研究所碩士論文
9. 教育部校園節能減碳資訊平台(2011),「教育部校園節能減碳資訊平台」  
<http://co2.ftis.org.tw/>
10. 黃國倉(2011),「綠建築的屋頂綠化」,科學發展月刊,460
11. 楊錦緞(2005),「綠建築於校園生態綠化之研究」,國立交通大學工學院專班營建技術與管理學程碩士論文
12. 綠建築解說與評估手冊 2005 年更新版(2005),「綠建築解說與評估手冊 2005 年更新版」
13. 綠建築解說與評估手冊 2003 年更新版(2003),「綠建築解說與評估手冊 2003 年更新版」
14. 遠赫 野說館(2011),「幫屋頂帶草帽 綠屋頂」  
<http://blog.yam.com/inheart/article/39212432>
15. 蘇榮宗(2009),「屋頂植草覆土層熱效應之研究」,國立高雄大學都市發展與建築研究所碩士論文
16. 寶銳城市綠光工程(2011),「綠屋頂種類」  
<http://www.greenroof.com.tw/green-style.html>
17. Green Roof 綠屋頂專題網頁(2011),「綠屋頂形式」  
<http://hsiliu-greenroof.blogspot.com/>

### 英文部分

1. International Green Roof Association,「Benefits of Green Roofs」  
<http://www.igra-world.com/benefits/index.php>
2. Lawrence Technological University,「屋頂綠化-歷史的 Greenroofs」  
<http://www.ltu.edu/>
3. The Green Roof Centre,「Green Roofs」  
[http://www.thegreenroofcentre.co.uk/green\\_roofs](http://www.thegreenroofcentre.co.uk/green_roofs)