

DIY綠屋頂及植栽套件

原型再利用回收寶特瓶為底座

高正忠 教授

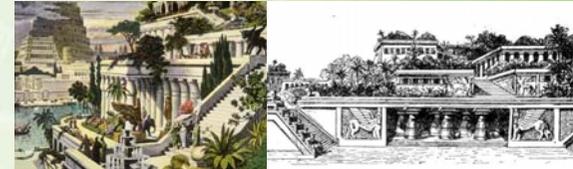
- 綠屋頂簡介及其效益
 - 一般綠屋頂及其在台灣應用時之缺點
 - DIY綠屋頂套件及其特點
- (完整套件預計105年暑假期間完成)

最後更新:2016/05/18

綠屋頂

高正忠 教授

- 在屋頂上種植一片植物，甚至形成庭園
 - 古代西方傳說中的七大世界奇蹟：巴比倫空中花園



圖片來源：<https://zh.wikipedia.org/wiki/空中花園>

- 是一個久遠時代即存在的技術

綠屋頂

高正忠 教授

- 在一些寒冷的北歐國家或會下雪的地方用以防寒，至今仍可見 (下圖拍攝地點: 加州 Tahoe湖旁)



綠屋頂

高正忠 教授

又稱

- 綠化屋頂
- 屋頂綠化
- 屋頂庭園
- 空中花園



台南市永福國小
圖片來源：家長提供

在德國、美國、加拿大、日本、瑞典、英國、大陸...等國家均已在推廣

厚層型(Intensive)綠屋頂

高正忠 教授

- 土壤基質較厚，至少20公分以上，甚至一/二公尺
- 空中花園
- 可種喬木，類似地面花園

成本及維護費均較高
須加強屋頂荷重及防漏能力



圖片來源: <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=1337>

薄層型(Extensive)綠屋頂

高正忠 教授

- 土壤基質薄，不到20公分
- 種植較輕較矮的植物，通常選擇較能抗旱且根系穿透性不強的植物



由於厚層型成本高，以下說明主要針對薄層型綠屋頂

圖片來源：北投圖書館提供

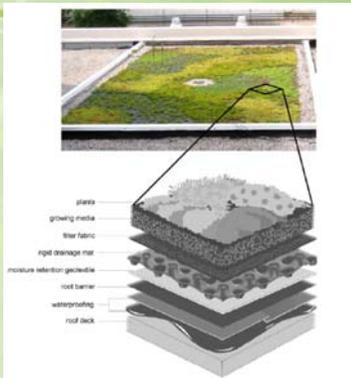
薄層型(Extensive)綠屋頂

薄層型典型由上而下架構

- 植栽
- 基質層：輕質土壤及配料
- 不織布：阻擋土壤掉入下方及形成導水層
- 阻根層：阻止根系向下發展
- 排水板：排除多餘雨水
或保/蓄排水板：可蓄少部分水
- 防水層：防止屋頂層漏水

(上列順序有時略有不同)

灌溉方式：建議滴灌為宜



薄層型典型架構

圖片來源：Carter and Keeler (2008)

為何台灣需要綠屋頂？

高正忠 教授

- 台灣人均綠地面積：台北市(2010)只有5.11m²
而大部分歐洲城市(Fuller and Gaston,2009)超過10m²
- 台灣人口密度很高，台北市高達9,956/km² (2015)
不易增加綠地
- 都市化→水泥森林→熱島效應、增加逕流、耗用能源
台東2004 40.2(焚風)；台中2004 39.9；
新竹2009 39.4；台北 2013 39.3
大陸已不少城市破40度
登革熱也隨著暖化往北移

為何台灣需要綠屋頂？

高正忠 教授

- 依國家災害防救科技中心(2011)
 - 1911-2009期間上升了1.4度，每十年上升0.14度(只採計陸地)，比全球平均值0.074度高(含海洋);中國、日本、韓國分別為0.081、0.113及0.187度
 - 唯近30年每十年上升0.29度，已是百年變化值的二倍
- 所以向屋頂借空間來設置綠地其實是一個減緩熱島效應的一個必要措施

綠屋頂的效益

高正忠 教授

- 綠屋頂九大效益：
 1. 隔熱節能減碳
 2. 減少都市熱島效應
 3. 截留雨水減少雨水系統負載
 4. 吸附空氣污染物
 5. 減少噪音
 6. 提供鳥類及小動物棲息地，有助於改善生態環境
 7. 保護屋頂延長其壽命
 8. 提供綠地及開放性空間
 9. 美觀及增加建築價值

隔熱節能減碳

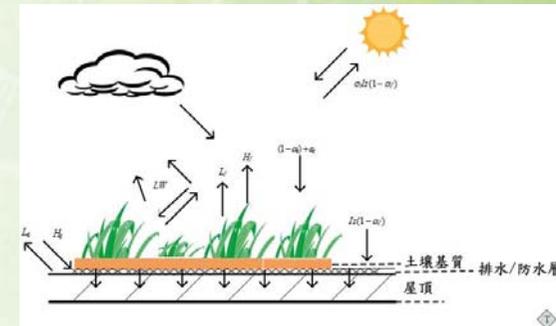
高正忠 教授

- 隔熱機制
 1. 植物及其葉面覆蓋遮陽，葉面積指標(Leaf area index, LAI)愈高遮陽作用愈好，且能反射及吸收太陽輻射
 2. 蒸散(evapotranspiration: evaporation+plant transpiration)作用，熱量隨著水蒸發而飄散
 3. 土壤層(含其孔隙)隔熱及散熱(水份蒸發)
 4. 不織布及阻根層(但因薄，這部分隔熱效能有限)
 5. 排水板或保排水板：通常低於6cm，隔熱效能亦較有限，但保排水板會較佳
 6. 防水層：亦有一定的隔熱效能

隔熱節能減碳(續)

高正忠 教授

- 熱通量變化圖



隔熱節能減碳(續)

高正忠 教授

■ 節能機制

- ◆ 隔熱→降低室內溫度→減少使用空調→節能
- ◆ 綠屋頂能減少熱能進入室內，同樣地也減少熱量向室外散出（這在台灣是一個缺點，之後會說明），故能保溫保溫→冬天提高室內溫度→減少使用暖氣→節能
- ◆ 減少熱島效應→降低城市氣溫→減少使用空調→節能

隔熱節能減碳(續)

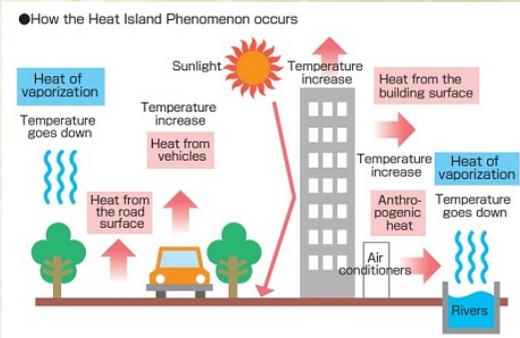
高正忠 教授

■ 減碳機制

- ◆ 節能→減少火力發電→減碳
- ◆ 植物透過光合作用將二氧化碳轉變成碳水化合物並以有機碳的型式儲存〔固碳〕於植物或土壤中，減少了二氧化碳在大氣中的濃度。

都市熱島效應

高正忠 教授



都市熱島效應(續)

高正忠 教授

■ 成因

- ◆ 高密度的建築物及柏油混凝土路面，比熱較植物及水體小，吸熱後溫度容易上升
- ◆ 街谷增加輻射在其間反射與吸收的次數，增加建築物吸熱
- ◆ 植物或天然水體可藉由蒸散／蒸發作用將可感熱(sensible heat)換成潛熱(latent heat)釋放，降低地表溫度，但綠地面積少，水泥建築吸收太陽輻射後以廢熱釋放，增加溫度
- ◆ 氣流經過都市因低層摩擦，減緩風速，使廢熱及空氣污染物不易擴散；
- ◆ 汽車、空調及其他會發熱的設備所產生的人工廢熱
- ◆ 懸浮微粒污染物同時有反射短波降溫作用及阻擋長波逸散增溫作用

減少都市熱島效應

高正忠 教授

- 依Li et al. (2014)研究Baltimore-Washington 市區綠屋頂減少熱島效應的結果指出，若綠屋頂達全市屋頂的30%，約可降低表面熱島效應約攝氏1度；若達全市90%，則可降低2公尺高的熱島效應約攝氏0.5度。

截流雨水減少雨水系統負載

高正忠 教授

- 綠屋頂可截留雨水，減少逕流，延遲尖峰逕流，並因而減少雨水/排水系統負載
- 機制
 - 植物本身可吸收一部分水份
 - 土壤/介質可接收一些雨水(含水率)
 - 保排水板有蓄水功能，一般為約6cm的倒三角形

吸附/截留空氣污染物

高正忠 教授

- 依Nowak(1994)，植物可移除以下污染物
 - 懸浮固體物 (PM)
 - 二氧化氮 (NO₂)
 - 二氧化硫 (SO₂)
 - 臭氧 (O₃)
- 機制
 - 吸附/截留空氣污染物與沈積物
 - 濾掉不良氣體

減少噪音

高正忠 教授

- 綠屋頂可吸收及減緩噪音之強度及傳遞，尤其是低頻噪音，因而可減少及減弱噪音。
- 薄層綠屋頂約可減少 40 decibels
(http://www.greenroofs.org/grtok/sbp_inter.php)

提供棲息地

高正忠 教授

- 可供一些生物作為棲息地



圖片來源：張景淞先生提供

保護屋頂延長其壽命

高正忠 教授

- Peak et al.(1999)、Patterson(1998)及Gmbh(2000)等文獻指出綠屋頂隔熱，讓屋頂不致日夜溫差相當大，且其土壤及植物可作為保護層，因而可延長屋頂的使用壽命，亦因而減少更換維護費用。
- 國外研究指出綠屋頂約可延長屋頂壽命至40年。

提供綠地及開放性空間 美觀及增加建築價值



圖片來源：<http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=1337>
<http://www.xzsports.com.tw/center.html> 及李昭翰提供

綠建築：綠覆率

高正忠 教授

- 國內已有一些縣市將綠屋頂納入綠覆率計算項目中，也因此可減少滿足綠覆率所須成本。故已是綠建築的一部分。

縣市別	台北市	新北市	桃園縣	新竹縣	新竹市	台南市	高雄市	宜蘭縣
綠屋頂	1/3	1	1/2	1 ¹	1 ¹	--	--	2/3
陽台及花台	1	1	1	1	1	--	--	1
草地、地被及草花	1	1	1	1	1	1	1	1
植草磚	1/3	1/2	1/2	1/2	1	1/3	1/3	1/3
觀賞性水池或溪水	1/3	1/3	2/3	1/3	1/3	--	--	--

¹建築物之陽台、花台及屋頂花園等綠化，其綠覆面全部計算，但不得超過應綠覆面三分之一。
資料來源：台北市(1994)、新北市(2012)、桃園縣(2001)、新竹縣(2007)、新竹市(2008)、台南市(2005)、高雄市(2009)、宜蘭縣(2004)

法國要求新屋頂要裝綠屋頂或太陽能板

高正忠 教授

<http://csglobe.com/france-declares-all-new-rooftops-must-be-topped-with-plants-or-solar-panels/>

France Declares All New Rooftops Must Be Topped With Plants Or Solar Panels

Apr 8, 2015



A new law recently passed in France mandates that all new buildings that are built in commercial zones in France must be partially covered in either plants or solar panels.

Green roofs, as they are called, have an isolating effect which helps to reduce the amount of energy needed to heat a building during the winter or cool it in the summer.

高雄市綠屋頂補助

- 補助80萬(49%)



傳統綠屋頂的缺點

高正忠 教授

- 建置較花時間人力
- 重量老舊建築不見得能承載
- 防水措施的要求較嚴謹
- 設置後不易移動，維護上亦較困難
- 晚上散熱能力更差(不太適合台灣的濕熱氣候)
- 成本高

傳統綠屋頂的缺點 建置較花時間人力

高正忠 教授

- 一般建置綠屋頂
 - 採用覆土式大面積鋪設
 - 必須現場施作
 - 一層層施作，加上擔心會有後續屋頂漏水的問題，必須嚴謹施工
 - 必須由專業人士施作

因而較花時間，人力需求亦較大

傳統綠屋頂的缺點 重量老舊建築不見得能承載

高正忠 教授

- 一般屋頂設計荷重是每平方公尺約>150-200公斤，因而大部分綠屋頂採用輕質介質

名稱	單位	尺寸及重量	每平方公尺重量
小品植栽	株	0.2kg/株	4
蛭石	包	1kg/10L	0.3
培養土	包	3kg/10L(3kg)	6
發泡煉石	包	3kg/10L(3kg)	0.9
砂	M3	2公噸/立方公尺	100
防水毯	M2	1kg/m2	1
蓄排水板	個	50x50x50cm (0.3kg)	1.2

上列重量已約113.4kg, 尚不含基質中含水的重量

傳統綠屋頂的缺點 防水措施的要求較嚴謹

高正忠 教授

- 這是國內最大的問題，由於施工可能會有偷工減料，加上處地震帶，屋頂漏水仍頗常發生
- 綠屋頂由於需要灌溉，且會讓屋頂表面處於較潮濕的情況下
- 施作綠屋頂之後不易維護其下的屋頂表面

故國內外傳統綠屋頂在施作時須建置較嚴謹防水層亦因而增加人力時間及成本

傳統綠屋頂的缺點 設置後不易移動，維護上亦較困難

高正忠 教授

- 整面覆土，維護困難度較高
- 不易移動
- 不易維護原屋頂層
- 即使有滲漏水問題亦不易馬上察覺

傳統綠屋頂的缺點 晚上散熱能力更差

高正忠 教授

- 由於國內的氣候濕度高，夏天晚上仍是頗悶熱，雖然綠屋頂白天可隔熱，但同樣地在晚間也減緩了夜間散熱，雖然在寒帶地區冬天由於可維持室內溫度，減少開暖氣的負荷，但在國內，這反而成了一大缺點。

傳統綠屋頂的缺點 成本高

高正忠 教授

- 目前市場的價格最低每平方公尺大約需要3200元左右，若以20坪來估，建置費用就約20萬元，若再加自動澆/滴灌等器材會更貴，故若沒有補助，接受度頗低，只有高價位新建築較能考量，也因此目前大部分是公部門示範建置，民間建置的仍不多(不含高價位的空中花園型密集式綠屋頂)。

傳統綠屋頂的缺點 成本高

高正忠 教授

自由時報
Liberty Times Net
自由時報 自由評論網 3C科技

新聞 財經 娛樂 體育 社會 地方 生活 專欄 國際 大陸 僑社

台北都會 | 北部新聞 | 中部新聞 | 南部新聞

《南部》《小檔案》綠屋頂 三工法

2015-07-14

綠屋頂可略分為薄層式、盆栽式、庭園式三種，各有優缺點，以常見的薄層式綠屋頂為例，是在屋頂上鋪設淺薄的人工介質，種植強韌、低矮的植物，可立刻讓光禿光的水泥屋頂綠化，施工價格每平方公尺約在5000至5500元之間（換算每坪約16500至18000元）。

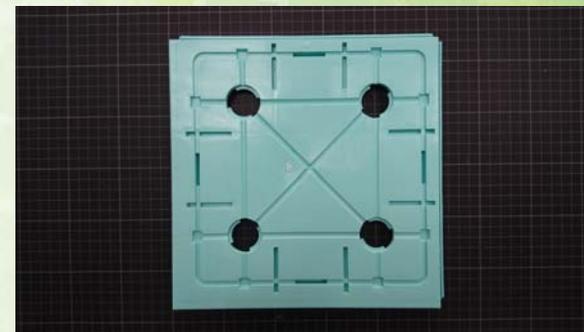
但受限於建築物的載重量和排水等因素，綠屋頂不能隨意運作，建築物須具備不漏水、洩水口功能正常等條件，才不致造成日後漏水、漏水的困擾，至於評估不適合做綠屋頂的建築，可考慮改建綠牆。

（資料來源：高市工務局、記者葛祐豪整理）

DIY套件:套蓋+寶特瓶



DIY套件:基盤



DIY套件:基盤+套蓋

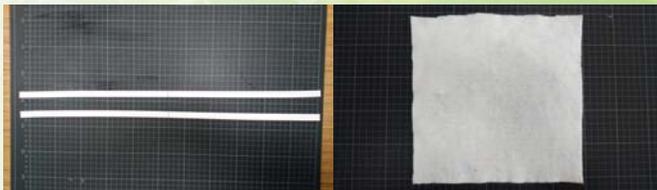


套件 原型再利用回收寶特瓶



套件:引水條 導水層

不織布: 盆件底部導水層
引水條: 借由毛細現象引水上來



DIY套件: 基盤擴充及放入引水條情形



DIY套件: 放上不織布及盆件即可種植



DIY套件:使用情形



盆件為3D列印的實驗版

DIY套件:盆件



為即將製造的盆件造形
第一個將製造翠綠色，未來會有不同顏色

DIY套件:盆件—框形



可採用木材、塑木或PP板製作 (可自行DIY)
不必是正方形,但長寬均須為25cm的倍數
但下方的底需要往中間擴(約3.5至4cm)

可能適種植物

- 一般綠屋頂常種植物 (如景天科多肉植物)(松葉或圓葉景天、落地生根、萬年草等)
- 蔬菜：皇宮菜、白莧菜、空心菜、甜A菜、小白菜、大葉韭菜、九層塔、辣椒、青蔥、地瓜葉、熱帶櫻草、野菜...
- 香草 (迷迭香、芳香萬壽菊、甜菊、魚腥草、黃金鼠尾草、義大利奧勒岡、齒葉薰衣草、越南芫荽、西洋接骨木、紫葉羅勒、薄荷、檸檬香蜂草、歐芹、紫蘇等)
- 草莓、蕃茄...
- 松葉牡丹、武竹、天竺葵、天人菊...
- 蘭花
- 引蝶植物

香草



DIY綠屋頂特點

- 無須加強防水
- 可自行DIY組裝，建置時間短 (小四以上小孩即能建置)
- 維護便利
- 隔熱效果更佳
- 夜間散熱效果佳
- 重量較輕
- 大量原型再利用回收寶特瓶
- 截留回收雨水再利用
- 無污水問題
- 可彈性擴充
- 適用國內外寶特瓶
- 不限用於屋頂
任何平坦面均可

DIY綠屋頂特點 無須加強防水

- 基盤由寶特瓶架高，未與屋頂表面直接接觸。
- 水主要是由植物基質吸收或是進入下方容器中儲存，除了下大雨，一般只有少量會落在屋頂表面。
- 大雨多餘溢流雨水仍很容易可由屋頂表面流出，不會積水。
- 下方透氣層由於氣流流通，不會受潮。
- 下方由於有中空層，很容易檢視屋頂表面的情形。

DIY綠屋頂特點

可自行DIY組裝，建置時間短

- 可自行DIY組裝。(小四以上小孩即能建置)
- 不必全面覆土。
- 不必防水。
- 模組式建置。

DIY綠屋頂特點

維護便利

- 模組化設計。
- 容易移動。
- 容易檢視。
- 維護方便且容易。

DIY綠屋頂特點

隔熱效果更佳

- 透氣的空氣層亦能增加隔熱的效果。
- 若通風良好時效果會更佳。

DIY綠屋頂特點

夜間散熱效果佳

- 夜間散熱可由中空層散掉，不會如覆土式把熱悶住。
- 由於植物層不像原裸屋頂那麼熱，原裸屋頂會吸熱，因屋頂未曝露在陽光下，故不會那麼熱了，若通風，散熱效果會更好。

DIY綠屋頂特點 重量較輕

- 未全面覆土。
- 不必加防水層。

DIY綠屋頂特點 大量原型再利用回收寶特瓶

- 台灣一年寶特瓶回收重量，若全部以600ml的瓶子計約45億支
http://recycle.epa.gov.tw/epa/rpaper/9806/01_policy_01.html
- 全世界都有類似的問題
- [原型再利用]是最環保的回收再利用方式，尤其是用在環境有益的地方，更增加其環境效益
- 期望大量原型再利用國內/外寶特瓶於對環境有益的DIY綠屋頂

DIY綠屋頂特點 截留回收雨水再利用

- 可收集雨水，除非是很大的雨，否則，大部分落在綠屋頂的雨水都能收集，供植物生長，亦減輕下游雨水系統之負荷。

DIY綠屋頂特點 無污水問題

- 傳統綠屋頂會有雨水排出，故會帶出一些污水，而DIY綠屋頂由於大部分水都被寶特瓶貯留，不會溢流，故不會有此問題。
- 水會流入寶特瓶，與外界不接觸，不會養蚊子。

DIY綠屋頂特點 可彈性擴充

- 可依所擬建置的面積彈性擴充

DIY綠屋頂特點 適用國內外寶特瓶

- 套蓋採用分離式設計，可依不同規格製作
- 若有出國且方便，請協助收集，謝謝！

DIY綠屋頂特點 不限用於屋頂

- 雖是為了綠屋頂而開發，但並不限於用於綠屋頂，任何平坦面均可用。
- 約數平方公尺即足以種全家吃的菜

整合或正開發中相關套件

- 滴灌系統
- 維護(含座椅)步道
- 陽台及室內用的套件(含滴水盤式)；
- 成本低的溫/濕度/水份/水量測+無線資料(藍芽/Wifi/ZigBee或IoT物聯網)傳輸套件
- 可組成不同形狀的DIY綠屋頂
- 側網
- 植栽美學
- 植物電池(荷蘭Plant-e): LED 燈+Wifi
- 手機充電(國外技術,正了解中)

室內植栽示意圖



室內植栽設計



植栽美學

[http://mp.weixin.qq.com/s? biz=MjM5NTE1NzMyOQ==&mid=403447012&idx=1&an=4d3830c7734f8d608fc758eb26bfa25d&scene=1&srcid=0319nsmi9X00pbkFESbDs3&from=groupmessage&isappinstalled=0#wechat_redirect](http://mp.weixin.qq.com/s?biz=MjM5NTE1NzMyOQ==&mid=403447012&idx=1&an=4d3830c7734f8d608fc758eb26bfa25d&scene=1&srcid=0319nsmi9X00pbkFESbDs3&from=groupmessage&isappinstalled=0#wechat_redirect)



DIY綠屋頂 聯絡

歡迎直接與本人聯絡，聯絡資訊如下列：

國立交通大學環境工程研究所
Institute of Environmental Engineering
National Chiao Tung University
1001 University Road, Hsinchu, Taiwan 30010, R.O.C.

O +886-3-573-1869
F +886-3-573-1759
H +886-3-572-5300
M +886-958-409-778
A 30010 新竹市大學路1001號 環工館305室
E jkkao@mail.nctu.edu.tw
W <http://jkkao.ev.nctu.edu.tw>
LINE ID jkkao-tw
SKYPE jkkaostrw
HANGOUT jkkao.tw@gmail.com
種籽書院 <http://book.nctu.edu.tw>

高正忠 教授
Jehng-Jung Kao, Professor

| 永續環境系統分析 |

