

# 校園綠建築之綠化量指標研究—以嘉義大學民雄校區為例

談珮華

國立嘉義大學史地學系 助理教授

陳本源\*

國立嘉義大學景觀學系 助理教授

廖惠旻

國立嘉義大學史地學系 碩士生

## 摘 要

本研究主要在探討綠建築中「九大評估指標」之一的「綠化量指標」，應用於嘉義大學民雄校園環境實施的情形，以田野調查方式來進行實地研究。我們比較二個個案，一為大學館新建築（一年內）而另一為科學館舊建築（三十年以上）基地，在二氧化碳固定量的差異與影響因素。

結果發現若依「綠建築解說與評估手冊 2003 年更新版」評估，二個建築基地的二氧化碳固定量皆符合綠建築綠化量指標，大學館及科學館綠化量分別為標準值的 1.08 及 1.6 倍，舊建築基地綠化量較高是因老樹比例較高，乘上兩倍的樹冠投影面積之後，可以得到較顯著的二氧化碳固定量。若依 2001 年舊版手冊計算，舊建築基地綠化量仍然符合，但新建築基地綠化量則變成不合標準，雖然後者栽植的大喬木數量與種類繁多，周圍角落栽植亦有較多的灌木叢，但因老樹比例較低且多為移植樹木，導致綠化量不合格。所以保存原生植栽及老樹，是我們在推動校園綠化與永續發展時值得努力的方向。另外，在綠建築的植栽方面，應優先以生態複層綠化來營造，即有大小喬木、灌木、花草密植混種區，如此亦具有較豐富的生物多樣性。

關鍵詞：綠建築、九大評估指標、綠化量指標、永續發展

---

\*通訊作者：陳本源博士

Email：chenpy96@mail.ncyu.edu.tw



# **Greening index applied on the campus green building - a case study of the National Chiayi University, Min-hsiung**

**Pei-Hua Tan**

Assistant Professor, Department of History and Geography, National Chiayi University

**Pen-Yuan Chen**

Assistant Professor, Department of Landscape Architecture, National Chiayi University

**Hui-Min Liao**

Graduate Student, Department of History and Geography, National Chiayi University

## **Abstract**

This study is aimed to apply the greening index, one of nine indexes of assessing green buildings, on the National Chiayi University, Min-hsiung. We conducted the field study on two buildings, University and Science buildings, about the difference and controlling factors of their carbon dioxide sequestration. The former one is a new building (within one year) and the latter is an old building (more than thirty years).

According to the “The manual of green building assessment in 2003”, it is found that the greening indexes of two building bases are both qualified for green buildings. The University and Science buildings have about 1.08-fold and 1.60-fold greening amount of the standard threshold. Compared to the University building, the Science building has higher greening amount because it is an older building and has higher percentage of older trees. The old trees can get the double tree cover areas and double carbon dioxide sequestration amount. According to the “The manual of green building assessment in 2001”, the greening amount of the old building is still qualified for a green building, however, that of the new building is not. Relative to the old building, although the new building has more kinds and numbers of trees and more bushes around the corner, their greening amount does not fit the green building requirement due to fewer old trees and higher percentage of newly-planted trees. Therefore, conservation of original plants and trees is a very important issue when we promote the campus greening and sustainable development.

Keywords: green building, nine assessment indexes, greening index, sustainable development

---

\*Corresponding author: Dr. Pen-Yuan Chen

Email : chenpy96@mail.ncyu.edu.tw



## 壹、前言

因過去人類毫無節制的耗費能源，大量開發熱帶雨林，引發大氣中的二氧化碳濃度遽增，造成溫室效應及全球氣候暖化現象，全球氣溫持續上升的結果，將導致冰山融化及海平面上升，也有可能造成沿海城市或島國淹沒的危機（IPCC，2007）。近年來，異常氣候、地球沙漠化、都市高溫化、臭氧層破壞的現象已成爲常態，這不但威脅到人類的生存，更使生物多樣性環境遭到空前的浩劫。雖然環境開發帶給人們豐富的物質生活，但地球卻因人類的私慾而被破壞殆盡。有鑑於自然環境遭受嚴重的破壞，1972年，聯合國在瑞典召開「聯合國環境會議」，首度提出了「永續發展的概念」。1980年世界自然保護組織（IUCN）首次提出「永續發展 Sustainable Development」的口號。1987年，世界環保與發展會議（WCED）更提出人類永續發展策略，獲得全球各國的共鳴。1992年在巴西里約召開「地球高峰會」，170個國家聚集共同商討對策來挽救地球環境危機的對策，並簽署「二十一世紀議程」、「氣候變化綱要公約」及「里約宣言」。接著在1993年，聯合國成立了「永續發展委員會」，展開全面性地球環保運動；1997年聯合國氣候變化委員會於東京簽署「京都議定書」，正式制定了各先進國二氧化碳排放減量的目標，在同一年，並在加拿大召開「綠建築的挑戰」（李駿傑，2004），顯示地球環保的問題已成爲跨越國境的國際要務，同時也顯示「永續發展」已成爲人類最重要的課題。

根據內政部建築研究所研究資料顯示，台灣的新建築建材當中鋼筋混凝土構造物佔95%。台灣的建築產業消耗大量的水泥、排放許多營建廢棄物，建築物的壽命卻嚴重偏低。我國建築產業耗能所排放的二氧化碳量，佔全國總排放量的27.22%，影響地球環境甚劇（林憲德，1996）。

台灣過去忽略環保的都市建築政策，使居住環境惡化，地球環保受到極大威脅。像是都市人口過度集中、建築物通風不良、都市建築不透水層的增加、節能設計不當，造成能源浪費與都市熱島效應。爲了因應日益炎熱的都市氣候，家家戶戶使用冷氣空調的頻率增加，使都市熱島效應更爲加強。爲了有效緩和上述都市建築環境惡化所面臨的問題，以環保觀點出發的「綠建築」乃是建築政策上最有效的實際例證。在政府大力推動「綠建築」政策之下，於1998年初全面擴大節能設計之適用範圍。此法令實施二十年後預計每年可節省約46億度的空調用電量，相當於每年可減少七百萬公噸的二氧化碳排放量（林憲德，2003），對於減緩地球氣候的溫室效應有莫大的貢獻，因此，綠建築可說是相當符合永續經營趨勢所需要的建築標準。

近年來我國行政院經建會特別將綠建築列入「城鄉永續發展政策」的執行重點。對於綠建築評估系統的發展，在政府的大力推動下廣爲應用於建築界，目前更是需要建立對於綠建築評估指標應用的相關研究。然而國內的大學校園正是環境教育的最佳場所，其建築物數量眾多且多具有寬廣的土地，綠化條件優良。再者，根據綠建築評估指標對



大學校園環境做檢測，可確切了解綠建築在大學實際應用實施的程度，並對檢測出的相關結果作檢討並提出改善方法。以此讓我們的校園能更接近生態永續發展的理念，營造出符合環保健康的綠色校園。

## 貳、文獻回顧

### (一) 綠建築之定義及發展狀況

國內外相關單位對綠建築所做的定義包括：(1) 1992 年聯合國全球永續發展宣言以及 1998 年加拿大溫哥華綠建築挑戰 98 (Green Building Challenge 98) 國際會議中，將綠建築定義為「在經濟與環境兩個問題中有效率的利用僅有的資源並提出解決的方法，進一步改善生活的環境就是所謂的綠建築。」(江哲銘，2001)；(2) 我國內政部建築研究所定義為「在建築生命週期(生產、規劃、施工、使用管理及拆除過程)中，以最節約能源、最有效利用資源的方式，建造最低環境負荷情況下，提供最安全、健康、效率及舒適的居住空間，達到人及建築與環境共生共容、永續發展的目標」(黃維賢，2003)；(3)「綠建築解說與評估手冊」定義由過去「消耗最少地球資源，製造最少廢棄物的建築」的消極定義，擴大為「生態、節能、減廢、健康的建築物」的積極定義(林憲德，2003)。

行政院於 1996 年成立國家永續發展委員會，提出未來永續發展的方針，之後各部會也陸續跟進，像是經建會將綠建築併入「城鄉永續發展政策」重要執行政策中，而營建署也將綠建築納入「營建白皮書」中並且正式推動綠建築；另外環保署也將綠建築納入「環境白皮書」中(徐仁峰，2003)。1998 年內政部建築研究所以台灣亞熱帶氣候為研究基礎，訂定了七大評估指標，包括基地綠化指標、基地保水指標、水資源指標、日常節能指標、二氧化碳減量指標、廢棄物減量指標、污水垃圾改善指標等。台灣綠建築起步雖晚，但因為國內相關單位大力推動鼓勵綠建築政策的實施，再加上近年來「綠建築評估系統」的完整建立，更與國際先進學術理論接軌，並且也能對國內建築物的節能、減廢、健康、環保做更完善的評估。因此，綠建築將成為未來建築的主要趨勢，可說是無庸置疑的了。

### (二) 綠建築評估指標之形成與發展

內政部建築研究所於 1998 年訂定之綠建築七大指標評估系統，該內容包含建築物本體以及周遭基地環境，但是未包含舒適性、生態性等更高層次的內容，所以在 2003 年將「生物多樣性指標」、「室內環境指標」加入七大指標中，成為九大指標，納入「綠建築解說與評估手冊 2003 年更新版」(林憲德，2003)。因此，「綠建築」最新的積極定義為符合「生態、節能、減廢、健康」(EEWH) 四大目標的建築物，若對應至九大指



標為：(1)生態 (Ecology)：生物多樣性、綠化量及基地保水三項指標；(2)節能 (Energy Saving)：日常節能指標；(3)減廢 (Waste reduction)：CO<sub>2</sub>及廢棄物減量二項指標；(4)健康 (Healthy)：室內環境、水資源及污水垃圾改善三項指標 (林憲德，2003)。

### (三) 綠建築綠化量指標簡介

「綠化量指標」與「生物多樣化指標」兩者都是評估「綠地環境」之指標，但後者比較偏向於評估兩公頃以上的大型基地之「綠地生態品質」，而綠化量指標則偏重於評估「綠化量」之功能，其評估對象並不限於任何大小的基地。植物大致上分為六大類，並非按照植物學上的分類法，而是以樹形、樹葉面積多寡作為評估植物 CO<sub>2</sub>固定效果的依據，與植栽分類與 CO<sub>2</sub>固定效果之意義如下所述 (林憲德，2003)：

#### 1. 闊葉大喬木類植物的 CO<sub>2</sub>固定效果

喬木類植物的特色是較為高大，遮陰性佳，常用於遮蔭、觀景與行道樹。由於其立體化的樹葉分佈，因此它的樹葉量最多，CO<sub>2</sub>固定效果也最好，然而因樹種、樹形、樹葉密度的差異，不同喬木的 CO<sub>2</sub>固定效果也有明顯差異。為了評估方便，表 1 的數據是採用榕樹、樟樹、黑板樹、檸檬桉、及羊蹄甲等五種植物的 CO<sub>2</sub>固定效果解析平均值，作為所有闊葉大喬木類植物的標準評估值。

#### 2. 闊葉小喬木、針葉木或疏葉形喬木類植物的 CO<sub>2</sub>固定效果

此類植物葉面積較小，所以 CO<sub>2</sub>固定效果比上述闊葉大喬木類稍小，而本分類之間的 CO<sub>2</sub>固定效果也有明顯差異，但為評估方便，表 1 的數據是採用小葉南洋杉、木棉、小葉欖仁等三種植物的 CO<sub>2</sub>固定效果解析平均值，作為此類植物的標準評估值。

#### 3. 大棕櫚類植物的 CO<sub>2</sub>固定效果

大棕櫚類的特色是樹形細長高挑，富有南國熱帶氣息，常用於觀賞與步道上的引導。台灣常見樹種如大王椰子、旅人蕉、棕櫚、蒲葵等。由於其葉面積較喬木稀少，其 CO<sub>2</sub>固定效果約為大喬木的一半，表 1 的數據是採用大王椰子的 CO<sub>2</sub>固定效果解析平均值，作為此類植物的標準評估值。

#### 4. 灌木類植物的 CO<sub>2</sub>固定效果

灌木植物的特色是低矮濃密，常用於阻隔圍籬。由於灌木叢的 CO<sub>2</sub>固定效果與其樹叢高度 (即樹葉量) 有關，表 1 依不同高度而區分為三種評估層級，提供了三種不同高度灌木叢之 CO<sub>2</sub>固定效果值作為計算參考。一般景觀綠地的灌木叢都不高，其 CO<sub>2</sub>固定效果約為大喬木的四分之一。

#### 5. 多年生蔓藤類植物的 CO<sub>2</sub>固定效果

多年生蔓藤是用來作為建築物立體綠化最好的植物，對空氣的淨化頗有貢獻。表 1 的數據是以 23cm 高的灌木叢之葉密度及葉量所模擬出的 CO<sub>2</sub>固定解析值來替代，其 CO<sub>2</sub>固定效果約為灌木叢標準值的 50%。



## 6. 草花及草類植物的 CO<sub>2</sub> 固定效果

草花及草類植物大部分為一年生植物，其 CO<sub>2</sub> 固定效果無法像木本植物那樣有長年累積之效，因此在表 1 中的 CO<sub>2</sub> 固定效果值，是根據野草地的葉面積實測值，在 40 年內的 CO<sub>2</sub> 固定解析值做為基準。雖然這些植物大多為一年生植物，其葉片每年都會分解、腐爛而無長期 CO<sub>2</sub> 固定效果，但為了取得與喬木一致的生命週期評估，因此還是依照 40 年累算值來評估。由於草類植物的高度會影響到它的葉面積與 CO<sub>2</sub> 固定效果，所以表 1 約略以花圃跟野草的高度來區分其效果。至於人工修剪的草坪，其白天的光合作用與夜晚的呼吸作用已相互抵銷，其 CO<sub>2</sub> 固定效果近於零，因此不列入計算。

表 1 台灣各種栽植單位面積四十年 CO<sub>2</sub> 固定量 Gi (kg/m<sup>2</sup>)

植栽種類		CO <sub>2</sub> 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)	1,100
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
多年生藤蔓 (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
一年生藤蔓、低草花花圃或低莖野草地 (高約 0.25m，土壤深度 0.3m 以上)		14
人工修剪草坪		0

資料來源：林憲德 (2003)



#### (四)「綠化量指標」相關研究

綠建築解說與評估手冊 2003 年更新版 (林憲德, 2003) 為綠建築九項評估指標之解說與應用專書, 為我國實施綠建築評估與審查的基準, 內容包含指標解說、評估技術、範例與評估表, 是依據 1999 年出版的「綠建築解說與評估手冊」(林憲德, 1999) 內容, 對於實施狀況而逐年修正檢討。其中談到綠化量指標的重要性與益處, 並詳盡說明評估基地綠化量的設計, 各類植物的 CO<sub>2</sub> 固定效果與固定量, 以及總綠化量所換算 CO<sub>2</sub> 固定量之計算公式, 並附詳細基準說明與評估要點, 為一詳盡實用的綠建築手冊。其中對於各種植物的 CO<sub>2</sub> 固定量、總綠化量換算 CO<sub>2</sub> 固定量之計算公式, 為本研究主要計算方法的參考。

徐仁鋒 (2003) 主要在探討大學校園內生態、綠建築現況, 並藉著實地調查、分析並比較的方式來進行研究, 用以瞭解現今大學校園內的生態狀況、綠建築評估應用的情形。因此以逢甲、靜宜兩大學為實例, 透過田野調查與分析, 來探討綠建築九項評估指標中的七項指標如「生物多樣性指標」、「綠化量指標」、「基地保水指標」、「日常節能指標」、「二氧化碳減量指標」、「水資源指標」及「污水垃圾改善指標」, 在不同年代區位之大學校園內分區間使用的差異性。

陳炳宏 (2003) 是以國立交通大學光復校區西區新行政大樓為案例, 利用九大評估指標中的「綠化量指標」進行分析, 針對「綠化量指標」在改善環境衝擊方面, 對於二氧化碳固定效果, 並量化綠化量指標所帶來的環境生態效益, 尋求改善溫室效應帶來的衝擊, 朝向建築永續發展之目標, 提供交通大學執行「綠色政策」之參考。

鄭永德 (2008) 使用生物多樣性、綠化量及基地保水等三項評估指標對彰化市四間國小進行調查, 以瞭解綠建築實施後新舊設立國民小學在生態指標群之表現成效。研究發現舊學校的喬木植栽間距未達 5 公尺以上、棕櫚類植栽數量過多 (二氧化碳固定量約為闊葉大喬木的一半)、多年生蔓藤數量為零、草花花圃及草坪面積數量太少, 致其綠化量表現不佳。朱滢樹 (2004) 研究針對大甲高中校園綠建築環境進行調查研究; 希望就地區學校之綠化環境與其對二氧化碳排放量減量等項目作詳實調查分析與其應用效益評估, 作為「永續發展綠色學校」的發展參考資料。

本研究採用九大評估指標中的綠化量指標, 因為綠化量指標之相關資料較易取得, 能提供客觀的量化計算方式, 同時該指標並不受限於基地面積大小, 所以研究對象範圍相當具有彈性。另外我們也比較 2001 年及 2003 年的評估標準所造成的差異。

### 參、研究方法及區域

#### (一) 研究方法

本研究針對進行評估戶外空間為主的「綠化量指標」之應用作為主要研究重點, 參考內政部建築研究所出版之「綠建築解說與評估手冊 2001 年版」(林憲德, 2001) 及



「綠建築解說與評估手冊 2003 更新版」(林憲德, 2003), 其中所建立的「綠建築標章制度評估系統」的「綠化量指標」評估技術, 其對於一花一木的二氧化碳固定效果, 能提供客觀的量化計算方式, 且其評估對象不限其基地規模之大小。

「綠建築標章」制度中的「綠化指標」, 是以植物對 CO<sub>2</sub> 的固定量作為評估尺度, 其精神是期望能維持建築空地有 50% 以上面積實施全面綠化。綠化量指標評估方式是由張顯通 (1997) 經過實驗研究出來的結果, 再經由林憲德教授等學者的修正與檢討而成為現在的綠化量指標。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, 且單位綠化面積的二氧化碳固定量計算值必須大於基準值 600 (kg/m<sup>2</sup>)。其最小綠地面積以及建築基地中的總綠化量所換算的二氧化碳固定量 TCO<sub>2</sub> 依下列公式計算之:

$$TCO_2 = \sum (G_i \times A_i) \times \alpha \quad (1)$$

$$A' = 0.5 \times r \times (A_0 - A_p) \quad (2)$$

TCO<sub>2</sub> 之合格判斷公式如下:

$$TCO_2 > TCO_{2c} = A' \times 600 \quad (3)$$

變數說明:

TCO<sub>2</sub>: 基地綠化之總 CO<sub>2</sub> 固定量計算值 (kg)

TCO<sub>2c</sub>: 綠建築綠化總 CO<sub>2</sub> 固定量基準值 (kg)

G<sub>i</sub>: 某植栽種類之單位面積 CO<sub>2</sub> 固定量 (kg/m<sup>2</sup>)

A<sub>i</sub>: 某植栽種類之栽種面積 (m<sup>2</sup>), 喬木以樹冠投影面積計算 (表 2)。灌木、花圃、草地以實際種植平面面積計算, 藤蔓類以實際立體攀附面積計、其他則以實際密植面積平面面積計算。

α: 生態綠化優待係數 (此優待需由設計者提出整體植栽生態計畫說明後由委員會認定後使用之)

A': 最小綠地面積 (m<sup>2</sup>)

A<sub>p</sub>: 學校類建築不可綠化之運動場地面積 (m<sup>2</sup>), 如田徑場、球場等, 以場地線內面積計之, 但不適用於學校類建築以外基地。

A<sub>0</sub>: 基地面積 (m<sup>2</sup>)

r: 基地法定空地比, 無單位。即 r = 1.0 - 法定建蔽率

600: 單位綠地 CO<sub>2</sub> 固定量基準 (kg/m<sup>2</sup>)

公式 (1) 表示所有植栽的二氧化碳固定總量, 為某植栽種類之單位面積二氧化碳固定量, 某植栽種類之栽種面積, 及生態綠化優待係數三項變數乘積的總和。公式 (2) 表示基地內最小綠地面積 A', 為扣掉運動場面積後的基地面積, 再乘上基地法定空地比及 0.5 的係數。公式 (3) 的右邊表示基地內最小綠地面積 A' 的二氧化碳固定量, 為最小綠地面積 A' 與單位綠化面積的二氧化碳固定量的基準值 (600 kg/m<sup>2</sup>) 的乘積, 即為



建築基地植栽達到綠建築綠化量的最低標準。

表 2 CO<sub>2</sub>固定量計算用喬木栽種間距與樹冠投影面積 Ai 基準

評估對象		栽種間距	樹冠投影面積 Ai
新開發基地新種喬木或 已開發基地一般喬木評 估 (註一)	市街地或一般小建築基地	4m	16 m <sup>2</sup>
	學校、小社區公園、工業區或 一公頃以上基地開發	5m	25 m <sup>2</sup>
	都會公園、科學園區或五公頃 以上基地開發	6m	36 m <sup>2</sup>
已開發基地老樹評估 (註二)	任何基地	以實際樹冠投影面積計算	
新建建築物刻意避開保 留之老樹評估 (註二)	任何基地	以實際樹冠投影面積兩倍優惠 計算	

註一：喬木間距大於或等於上述間距者，以本表 Ai 基準值計算其 CO<sub>2</sub>固定量；喬木間距小於上述間距者，以實際間距之平方面積計算其 CO<sub>2</sub>固定量，但緊鄰建築物之喬木必須以樹幹中心扣除建築物障礙後之樹冠面積計算其 CO<sub>2</sub>固定量。

註二：米高徑 30 cm 以上或樹齡 20 年以上之喬木謂之老樹，但移植的老樹視同新樹，不予優惠計算。

資料來源：林憲德 (2003)

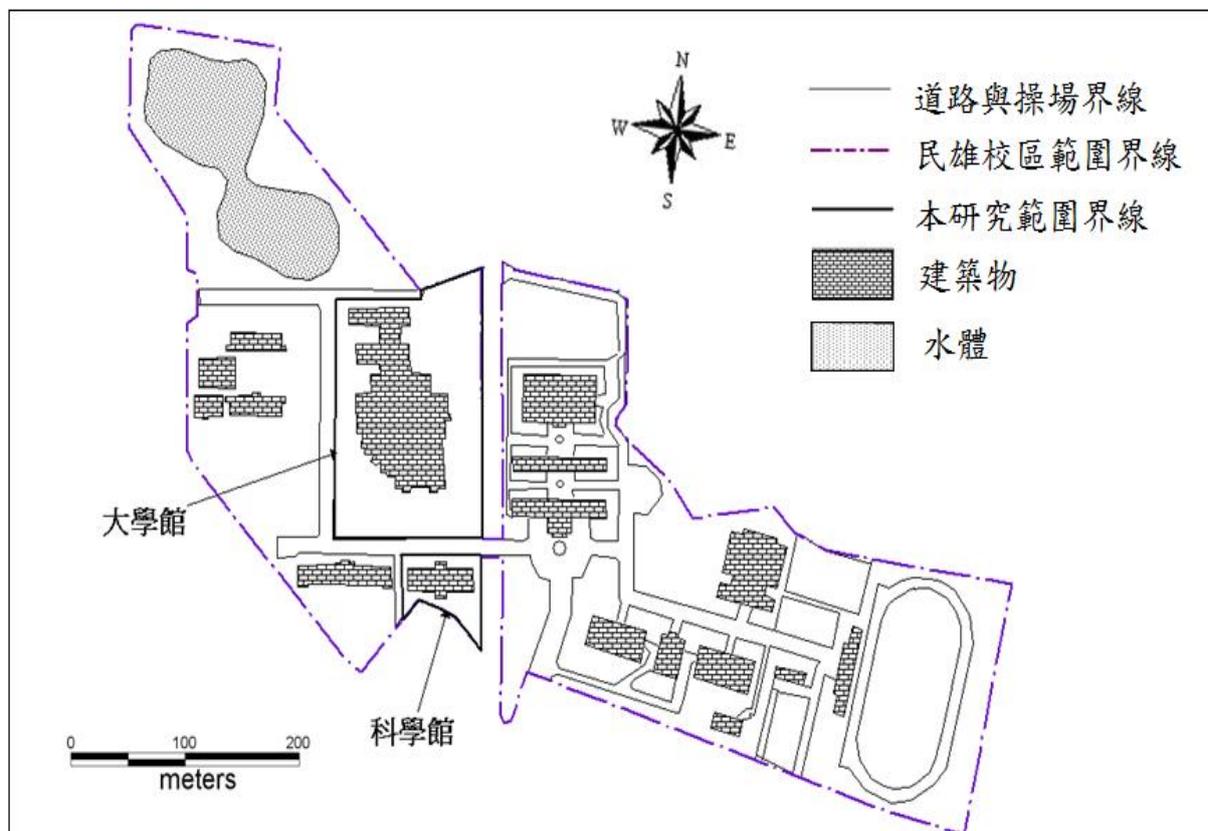


圖 1 嘉義大學民雄校區與本研究之範圍

## (二) 研究區域

本研究以國立嘉義大學民雄校區大學館及科學館為研究對象，前者為新建築（一年內）而後者為舊建築（三十年以上）。我們首先向學校有關單位取得大學館與科學館之平面利用規劃圖（圖 1）以及面積，再實地調查並以相機相片與筆記紀錄下植物種類、數量以及其他綠化型式之分布，輔以使用測距輪與量尺等工具來測量植物之間距與高度，再利用繪圖工具 Mapinfo 繪製出植栽分佈情形；參考「建築基地綠化設計技術規範」（內政部營建署全球資訊網，2006）與評估手冊附錄的植物分類方式與用詞之定義，依照植物種類及數量分布面積，來計算出其二氧化碳固定量值（公式 1），並與作為及格標準的綠化基準值  $TCO_2c$  比較（公式 3），取得綠化量的結果，判斷此案例是否符合綠化量指標之要求。最後再對分析結果作檢討並提出改善因應之道。

## 肆、研究結果

本研究調查國立嘉義大學民雄校區的二棟建築基地，案例一為大學館，研究基地的植栽分佈如圖 2 所示；案例二為科學館，研究基地的植栽分佈如圖 3 所示。

比較「綠建築解說與評估手冊 2001 年版」與「綠建築解說與評估手冊 2003 年更新版」得知，主要差異在於 2003 年更新版提出對於老樹「垂直投影面積」的優待。表 2 為老樹的  $CO_2$  固定量優惠評估，將實際老樹樹冠投影面之兩倍面積來計算其  $CO_2$  固定量。老樹定義為米高徑（樹幹距地表 1 公尺處之直徑）30 公分以上或樹齡 20 年以上之喬木，若移植的老樹亦視同新樹，不予優惠計算，即以一般樹冠投影面積基準值來計算（林憲德，2003）。實際上老樹有依開發基地時間分成二類：(1)已開發基地老樹；(2)新建建築物刻意避開保留之老樹。前者是以實際樹冠投影面積計算，而後者才是以實際樹冠投影面積的二倍計算。在新種喬木及一般喬木方面，則依其栽種區域及栽種間距有不同規定，比如市街地及栽種間距 4 公尺，樹冠投影面積為 16 平方公尺；學校地及栽種間距 5 公尺，樹冠投影面積為 25 平方公尺；都會公園、科學園區及栽種間距 6 公尺，樹冠投影面積為 36 平方公尺。在實際應用在嘉大校園上，我們是依栽種間距來決定，比如間距 5 公尺，樹冠投影面積即為 25 平方公尺，而間距為 6 公尺時，樹冠投影面積即為 36 平方公尺。另外在調查二個案例的老樹實際樹冠面積時，發現兩者皆大於表 2 中一般喬木栽種間距所得之樹冠投影面積之二倍，所以無論是應用在已開發基地（案例二）或新開發基地（案例一），我們亦依表 2 中一般喬木栽種間距來給定老樹樹冠投影面積，再乘上二倍，比如確定為老樹時，若間距為 4 公尺時，樹冠投影面積即為  $16 \times 2 = 32$  平方公尺。實際值與推估值的誤差範圍在 3-10% 左右，對實際值確實有一些低估，但仍不失為一種簡易且快速的推估方式。



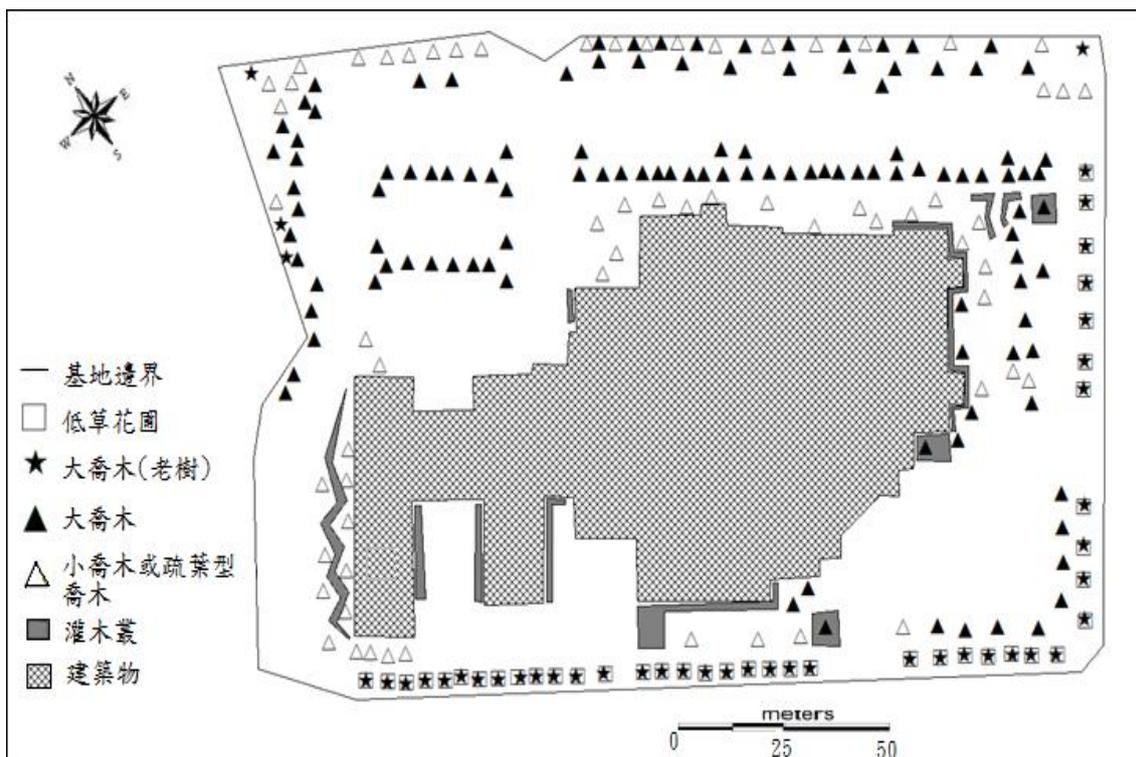


圖 2 嘉義大學民雄校區大學館（案例一）植栽分佈圖

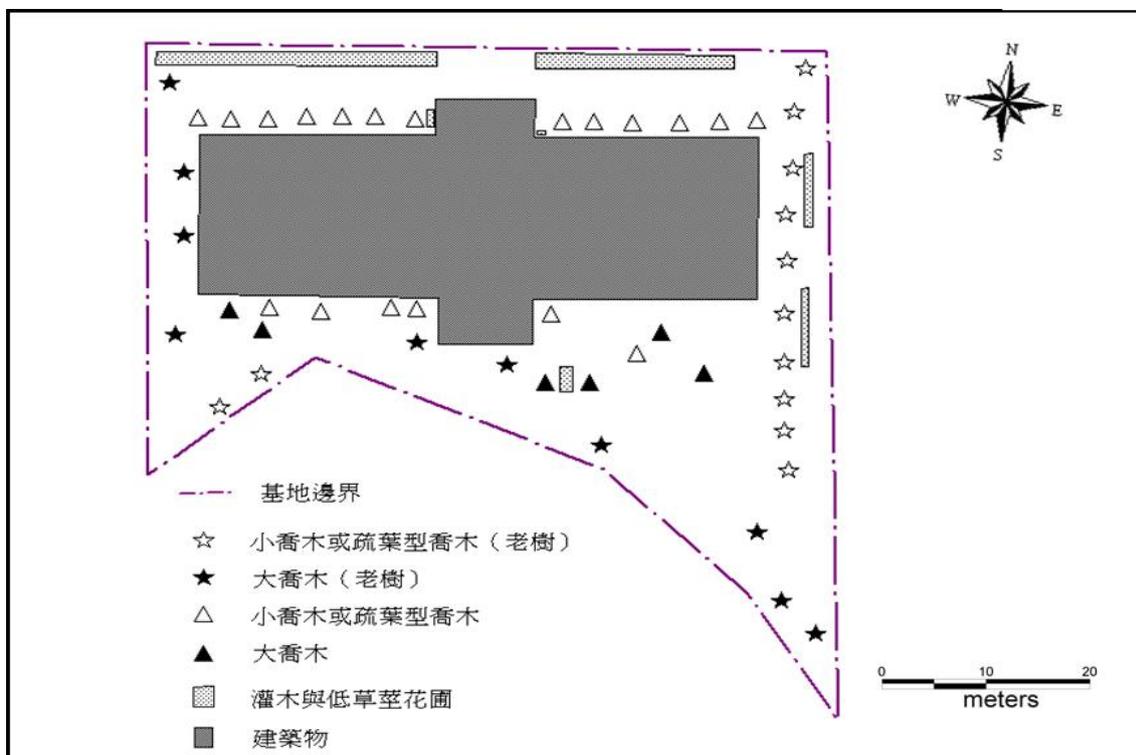


圖 3 嘉義大學民雄校區科學館（案例二）植栽分佈圖



表 3 嘉義大學民雄校區大學館綠化量指標評估表 (2003 年及 2001 年版計算方式)

(1)建築基地基本資料 (案例一)							
建築名稱		大學館	基地面積	26,112 m <sup>2</sup>	地面層面積 (1F)		6,514 m <sup>2</sup>
法定建蔽率		40%	實際建蔽率	25%			
(2)綠化量評估				2003 年版計算方式		2001 年版計算方式	
植栽種類		栽種條件	固定量 Gi (kg/m <sup>2</sup> )	栽種面積 Ai (m <sup>2</sup> )	計算值 Gi x Ai (kg)	栽種面積 Ai (m <sup>2</sup> )	計算值 Gi x Ai (kg)
生態復層	大小喬木、灌木、花草密植混種區	喬木種植間距 3.0m 以下且土壤深度 1.0m 以上	1100	無	無	無	無
	闊葉大喬木	土壤深度 1.0m 以上	808	116 株 x 25m <sup>2</sup> 44 株 x 50m <sup>2</sup>	4,120,800	160 株 x 25m <sup>2</sup>	3,232,000
疏植區域	闊葉小喬木、針葉木或疏葉形喬木	土壤深度 1.0m 以上	537	64 株 x 25m <sup>2</sup>	859,200	64 株 x 25m <sup>2</sup>	859,200
	大棕櫚類	土壤深度 1.0m 以上	410	無	無	無	無
	大小喬木密植混種區	平均種植間距 3.0m 以下且土壤深度 0.9m 以下	900	無	無	無	無
密植區域	密植灌木叢	高約 1.3m 且土壤深度 0.5m 以上	438	無	無	無	無
	密植灌木叢	高約 0.9m 且土壤深度 0.5m 以上	326	221.22m <sup>2</sup>	72,118	221.22m <sup>2</sup>	72,118
	密植灌木叢	高約 0.45m 且土壤深度 0.5m 以上	205	175.52m <sup>2</sup>	35,982	175.52m <sup>2</sup>	35,982
其他區域	多年生藤蔓	土壤深度 0.5m 以上	103	無	無	無	無
	高草花花圃或高莖野草地	高約 1.0m 且土壤深度 0.3m 以上	46	無	無	無	無
	一年生藤蔓、低草花花圃或低莖野草地	高約 0.25m 且土壤深度 0.3m 以上	14	115.6m <sup>2</sup>	1,618	115.6m <sup>2</sup>	1,618
$\Sigma (Gi \times Ai) =$				5,089,718			4,200,918
(3) 生態綠化優待係數 $\alpha$				1			1
(4) 綠化設計值 TCO <sub>2</sub> 計算： TCO <sub>2</sub> = $\Sigma (Gi \times Ai) \times \alpha$				5,089,718			4,200,918
(5) 綠化基準值 TCO <sub>2c</sub> 計算： TCO <sub>2c</sub> = 600 x A' A' = 0.5 x r x (A <sub>0</sub> - A <sub>p</sub> )				4,700,160			4,700,160
(6) 綠化量指標及格標準檢討：TCO <sub>2</sub> > TCO <sub>2c</sub> ?				符合判斷式 → 合格			不符合判斷式 → 不合格

資料來源：本研究調查整理，參考林憲德(2003)，林憲德(2001)。



表 4 嘉義大學民雄校區科學館綠化量指標評估表 (2003 年及 2001 年版計算方式)

(1)建築基地基本資料 (案例二)							
建築名稱		科學館	基地面積	3,563 m <sup>2</sup>	地面層面積 (1F)		1,102 m <sup>2</sup>
法定建蔽率		40%	實際建蔽率	31 %			
(2)綠化量評估				2003 年版計算方式		2001 年版計算方式	
植栽種類		栽種條件	固定量 Gi (kg/m <sup>2</sup> )	栽種面積 Ai (m <sup>2</sup> )	計算值 Gi x Ai (kg)	栽種面積 Ai (m <sup>2</sup> )	計算值 Gi x Ai (kg)
生態復層	大小喬木、灌木、花草密植混種區	喬木種植間距 3.0m 以下且土壤深度 1.0m 以上	1100	無	無	無	無
	闊葉大喬木	土壤深度 1.0m 以上	808	10 株x50m <sup>2</sup> 6 株x25m <sup>2</sup>	525,200	16 株x25m <sup>2</sup>	323,200
疏植區域	闊葉小喬木、針葉木或疏葉形喬木	土壤深度 1.0m 以上	537	17 株x16m <sup>2</sup> 2 株x25m <sup>2</sup> 12 株x50m <sup>2</sup>	495,114	17 株x16m <sup>2</sup> 14 株x25m <sup>2</sup>	334,014
	大棕櫚類	土壤深度 1.0m 以上	410	無	無	無	無
	大小喬木密植混種區	平均種植間距 3.0m 以下且土壤深度 0.9m 以下	900	無	無	無	無
密植區域	密植灌木叢	高約 1.3m 且土壤深度 0.5m 以上	438	1m <sup>2</sup>	438	1m <sup>2</sup>	438
	密植灌木叢	高約 0.9m 且土壤深度 0.5m 以上	326	42.6m <sup>2</sup>	13,888	42.6m <sup>2</sup>	13,888
	密植灌木叢	高約 0.45m 且土壤深度 0.5m 以上	205	無	無	無	無
其他區域	多年生藤蔓	土壤深度 0.5m 以上	103	無	無	無	無
	高草花花圃或高莖野草地	高約 1.0m 且土壤深度 0.3m 以上	46	無	無	無	無
	一年生藤蔓、低草花花圃或低莖野草地	高約 0.25m 且土壤深度 0.3m 以上	14	22.4m <sup>2</sup>	314	22.4m <sup>2</sup>	314
$\Sigma (Gi \times Ai) =$				1,034,953		671,854	
(3) 生態綠化優待係數 $\alpha$				1		1	
(4) 綠化設計值 TCO <sub>2</sub> 計算： TCO <sub>2</sub> = $\Sigma (Gi \times Ai) \times \alpha$				1,034,953		671,854	
(5) 綠化基準值 TCO <sub>2c</sub> 計算： TCO <sub>2c</sub> = 600 x A <sup>ˆ</sup> A <sup>ˆ</sup> = 0.5 x r x (A <sub>0</sub> - A <sub>p</sub> )				641,388		641,388	
(6) 綠化量指標及格標準檢討：TCO <sub>2</sub> > TCO <sub>2c</sub> ?				符合判斷式 → 合格		符合判斷式 → 合格	

資料來源：本研究調查整理，參考林憲德(2003)，林憲德(2001)。



**案例一：**表 3 為嘉大民雄校區大學館綠化量指標評估表，調查得知植栽種類包括疏植區域、密植區域及其他區域如藤蔓花圃，但無生態複層區。疏植區域計有闊葉大喬木 160 株，其中 44 株為老樹，闊葉小喬木、針葉木或疏葉形喬木共 64 株。在密植區域，高度約 0.9 公尺且土壤深度 0.5 公尺以上的密植灌木叢計有 221.22 平方公尺，而高度約 0.45 公尺且土壤深度 0.5 公尺以上的密植灌木叢計有 175.52 平方公尺。在其他區域，一年生藤蔓、低草花花圃或低莖野草地計有 115.6 平方公尺。以 2003 年版本來看，闊葉大喬木、闊葉小喬木類、密植灌木叢及藤蔓花圃在綠化量分別貢獻了 80.96%、16.88%、2.13% 及 0.03%；而 2001 年版本的貢獻分別為 76.94%、20.45%、2.58% 及 0.04%。闊葉大喬木與闊葉小喬木二者共同的貢獻可高達 97% 以上，而密植灌木叢居次，藤蔓花圃所佔比例最少，不及千分之四。

此例可看出此基地雖然擁有高達 160 株的闊葉大喬木與 64 株的小喬木或疏葉形喬木，有 44 棵老樹，另外 116 棵大喬木與其他的小喬木是屬於新移植（見圖 4 及圖 5）的喬木，因此就算樹齡超過 20 年或者米高徑超過 30 公分，也還是只能列為一般喬木，並無老樹優惠計算。依照 2003 年修改過的綠化量指標評估方式來看，在案例一裡，只有 44 棵大喬木列入老樹優惠的條件內，所有老樹只佔所有喬木比例的 19.6%，卻提供了所有喬木 35.7% 的 CO<sub>2</sub> 固定量，可見老樹優惠佔了相當大的比重；另一方面，假使使用 2001 年版的綠化量指標評估方式，未把老樹優惠列入計算，如此案例一綠化評估的結果將會呈現不合格的情況。由此可見老樹「垂直投影面積」的計算是個相當重要的影響因素。



圖 4 大學館新移植大喬木



圖 5 大學館新移植小喬木

**案例二：**表 4 為嘉大民雄校區科學館綠化量指標評估表，經調查得知植栽種類包括疏植區域、密植區域及其他區域如藤蔓花圃，但無生態複層區。疏植區域計有闊葉大喬木 16 株，其中 10 株為老樹，闊葉小喬木、針葉木或疏葉形喬木共 31 株，其中 12 株為老樹。在密植區域，高度約 0.9 公尺且土壤深度 0.5 公尺以上的密植灌木叢計有 1 平方



公尺，而高度約 0.45 公尺且土壤深度 0.5 公尺以上的密植灌木叢計有 42.6 平方公尺。在其他區域，一年生藤蔓、低草花花圃或低莖野草地計有 22.4 平方公尺。以 2003 年版本來看，闊葉大喬木、闊葉小喬木類、密植灌木叢及藤蔓花圃在綠化量分別貢獻了 50.75%、47.84%、1.38% 及 0.03%；而 2001 年版本的貢獻分別為 48.11%、49.71%、2.13% 及 0.05%。闊葉大喬木與闊葉小喬木二者共同的貢獻可高達約 98%，而密植灌木叢居次，藤蔓花圃所佔比例最少，不及千分之五。

案例二的闊葉大喬木及小喬木或疏葉形喬木數目分別為案例一數目的 10% 及 48%，但因基地面積較小，約為案例一面積的 13.6%，所以在兩種綠化量評估標準下，都呈現合格狀態。另一特別之處是案例二如果使用 2003 年新版的指標評估法，將老樹優惠加入，產生的 CO<sub>2</sub> 固定量便遠高於基準值，主要是因為案例二屬於較為老舊的建築，且基地裡的植栽多為原生的老樹，佔闊葉大喬木比例的 37.5%，比案例一的 27.5% 來得高，這些老樹沒有因為建築物的興建而砍伐掉，反而保存維護下來，其對於 CO<sub>2</sub> 固定量的貢獻相當可觀。

如此一來，雖然案例一的實際建蔽率較案例二為低，也就是說案例一有較高比例的空地來容納較多的植栽，且在喬木數目比例上看來並不少，但由於這些幾乎都是新植栽的喬木，能否適應新環境而存活還不一定；不過在此還是可以看出案例一大學館這塊新興建的基地，其所設計的綠化量是合乎綠化量指標的基準值，其所移植數量可觀的新樹仍可見其對環境綠化仍有一定的努力。但如果由 CO<sub>2</sub> 固定量效果上來看的話，種植的樹木較為稀少的案例二卻是較為優良的，主因在於案例二科學館的植栽多為原生老樹（圖 6），老樹在「垂直投影面積」的優待計算是有很大的加分效果，這就是為了鼓勵在開發土地時，能盡量保留原土地所生長的老樹，而減少把老樹移植到一個新地點的情況發生。



圖 6 科學館原生老樹

## 伍、結論與建議

在日益嚴重的地球環境負荷情況下，尤其二氧化碳的遽增，加強了全球溫室效應帶來的衝擊，使得越來越多的國家、政府、民間組織甚至於學校，都逐漸重視環境綠化的重要性；然而，不僅要加強對原有林木的維護與保存，更要積極綠化我們周遭環境。綠建築評估指標正是我國近年來對於建築與環境永續發展平衡所做的努力之一，在九大評估指標中，綠化量指標是項重要且極具代表性的指標，不僅實施容易，且不限任何範圍大小都可進行綠化評估。校園環境正是灌輸環境教育給我們下一代的最佳地點，藉由對校園的綠化，不僅能夠加強學生對環境生態永續的觀念，還能帶給學生健康、舒適、美觀的學習環境。

本研究主要在探討綠建築中「九大評估指標」之一的「綠化量指標」，應用於嘉義大學民雄校園環境實施的情形，以田野調查方式來進行實地研究。我們比較二個個案，一為大學館，另一為科學館基地，兩者在二氧化碳固定量之間的差異與影響因素。案例一為新興建築（一年內）之代表，案例二則屬於較為老舊的建築（三十年以上）。

結果發現若依「綠建築解說與評估手冊 2003 年更新版」評估，二個建築基地的二氧化碳固定量皆符合綠建築綠化量指標，大學館及科學館綠化量分別為標準值的 1.08 及 1.6 倍，舊建築基地綠化量較高是因老樹所佔比例較高，重新修改過後的綠化量指標加入老樹優惠，也就是老樹可乘上兩倍的樹冠投影面積之後，所得出的 CO<sub>2</sub> 固定量相當可觀，甚至遠遠高於綠化量基準值。但若依 2001 年舊版手冊計算，舊建築基地綠化量仍然符合，但新建築基地的綠化量則變成不合標準，雖然該基地栽植的大喬木數量與種類繁多，且在建築物周圍角落栽植有較多的灌木叢，充分顯示出其對綠化設計的用心，但因老樹比例較低且多為移植樹木導致綠化量不合格。

由此可知現今綠化量指標設計，非常重視老樹所帶來的綠化量，並且鼓勵基地開發時對於原有老樹的維護保存，且並不支持移植樹木這種反生態風潮的舉動。除非在不得已的情況下，老樹對於基地的開發可能會造成極大阻礙或不便，否則保存原生的植栽及老樹應該是我們在推動校園綠化與永續發展時急需努力堅持的方向。

在二氧化碳固定量上，案例一的新興建築基地，闊葉大喬木與闊葉小喬木二者共同的貢獻可高達 97% 以上，而密植灌木叢居次，藤蔓花圃所佔比例最少，不及千分之四。而案例二的老舊建築基地，闊葉大喬木與闊葉小喬木二者共同的貢獻可高達約 98%，而密植灌木叢居次，藤蔓花圃所佔比例最少，不及千分之五。請注意這二個案例皆無來自生態複層綠化的貢獻。總的來說，二氧化碳固定量由大而小排列依序為：生態複層綠化 > 密植喬木 > 疏種喬木 > 灌木叢 > 多年生藤蔓 > 高草花花圃或高莖野草地 > 高草花花圃或高莖野草地，而人工草坪為零。若是以傳統綠覆率的評估方式，當生態複層綠化與人工草坪的覆蓋面積相等時，則兩者「綠覆率」是完全相同的；但是以「二氧化



碳固定量」來看，前者比後者的值就明顯大許多。若是同樣的植栽面積來比較，生態複層綠化的二氧化碳固定量約可為密植灌木叢的 5 倍，為低草化花圃的 79 倍，所以在設計綠建築的綠化植栽，仍應以生態複層綠化為首選，即有大小喬木、灌木、花草密植混種區，如比亦具有較豐富的生物多樣性。

另外我們注意到，綠建築解說與評估手冊已有 2007 年的更新版（內政部建築研究所，2007），2003 年比 2001 年版本新增了老樹優惠的二氧化碳固定量，2007 年版本則和 2003 年版本一樣，有給予老樹優惠，但在各種植栽的單位面積四十年二氧化碳固定量及公式計算上有明顯差異。與 2003 年版本相比，2007 年版本的植栽分類有做簡化，但在分類細項有增加，比如密植灌木叢僅需覆土深度，不用考慮植栽高度；在花圃分類，無需分高草低草，一律為草花花圃，且在該類別加入自然野草地、水生植物及草坪，即單位植栽面積的二氧化碳固定量皆為  $20 \text{ kg/m}^2$ ；在各種植栽二氧化碳固定量的數值上有另做修正。在二氧化碳固定量的公式計算方面，2007 年的版本亦較為繁複，比如在生態綠化優待係數  $\alpha$  的計算，要考慮是否為原生植物及誘鳥誘蝶植物，來給予不同之優待係數；多加一項原生綠地的二氧化碳固定量基準值，列入最小綠地面積二氧化碳固定量基準值的計算；在最小綠地面積、不可綠化面積、基地面積及法定建蔽率的定義與計算方式亦較複雜。所以，與 2001 年及 2003 年的版本相比，綠建築解說與評估手冊 2007 年更新版在綠化量指標的計算上做了相當多的改變與修正，是個未來值得繼續研究的方向。

## 參考文獻

- 內政部營建署全球資訊網，2006 年 12 月 22 日，建築基地綠化設計技術規範。查詢日期：2008 年 1 月 15 日，取自：  
[http://www.cpami.gov.tw/web/index.php?option=com\\_content&task=view&id=8505&Itemid=124](http://www.cpami.gov.tw/web/index.php?option=com_content&task=view&id=8505&Itemid=124)
- 內政部建築研究所，2007，綠建築解說與評估手冊 2007 年更新版，台北：內政部建築研究所。[順序調整，從後面調至此處]
- 江哲銘，2001，「未來百年的「台灣·永續·健康」發展趨勢—利用自然營建策略與萬物共生互利」，建築師，台北市：建築師雜誌社，98-104。
- 朱滢樹，2004，校園綠建築綠化指標之植栽 CO2 固定量調查研究-以大甲高中為例，雲林科技大學碩士論文。
- 李駿傑，2004，綠建築中生態指標應用於機關用地之研究—以台中市及中興新村為例，逢甲大學建築及都市計畫研究所碩士論文。
- 林憲德，1996，濕熱氣候的綠色建築計畫，台北：詹氏書局。
- 林憲德主編，1999，綠建築解說與評估手冊，台北：內政部建築研究所。
- 林憲德主編，2001，綠建築解說與評估手冊 2001 年版，台北：內政部建築研究所。
- 林憲德主編，2003，綠建築解說與評估手冊 2003 年更新版，台北：內政部建築研究所。



- 徐仁鋒，2003，綠建築評估指標應用於大學校園環境之研究以逢甲、靜宜大學為例，逢甲大學建築及都市計畫研究所碩士論文。
- 黃維賢，2003，「綠建築在校園建築中的具體應用」，2003 環境教育學術研討會論文集：878-883。
- 陳炳宏，2003，從綠建築之綠化量指標改善溫室效應之分析：以國立交通大學新行政大樓為例，國立交通大學工學院產業安全與防災學程碩士論文。
- 張顯通，1997，綠化設計對 CO<sub>2</sub> 氣體固定效果之研究，國立成功大學建築研究所碩士論文。
- 鄭永德，羅仁豪，鄭明仁，2008，綠建築生態指標群運用於校園生態環境之研究—以彰化市新舊國民小學為例，2008 年自然資源保育暨應用學術研討會論文集。
- IPCC (2007), “Summary for Policymakers”. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

