

# 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

鄭永德<sup>1</sup> 羅仁豪<sup>2</sup> 鄭明仁<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 逢甲大學建築學系(彰化縣政府)／碩士研究生(技士)／a690200@email.chcg.gov.tw

<sup>2</sup> 逢甲大學土木水利學系／規劃組博士生／stan0626@yahoo.com.tw

<sup>3</sup> 逢甲大學建築學系／副教授兼系主任／mjcheng@fcu.edu.tw

### 摘要

本研究主要以綠建築之生態指標群為調查基礎，研究範圍為彰化市全新設立之「大成國小」與市內面積相近之「民生國小」、「南興國小」及「大竹國小」等4所學校，透過生物多樣性、綠化量及基地保水等三項評估指標進行調查，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。

本文以「綠建築指標評估手冊」為主要理論基礎，校園規劃理論為輔，對校區內之生物多樣性、綠化量及基地保水等現況作實地田野調查，以取得校園「生態指標群」評估之基本數據，再以統計迴歸法進行相關影響因子分析，藉以了解新舊學校在生態指標群上的差異性。

**關鍵字：**綠建築、生物多樣性指標、綠化量指標、基地保水指標

## **The Research on the Utilization of Ecological Index Group of Green Building in Campus Ecological Environment: Taking a few of new and old elementary schools in Changhua city as examples**

### **Abstract**

Taking the ecological index group of “green building”, this research adopted four objects - the newly established Da-cheng Elementary School in Changhua City and three other schools with about the same area measures in Changhua City, Minsheng Elementary School, Nan Sing Elementary and Ta Chu Elementary School. The research carried out the investigation through three evaluation indexes, including the biodiversity, greenery and soil water content, to obtain an understanding on the ecological index efficacy of the newly set up green building from values found in the new and old elementary schools.

Grounded on the “green building index evaluation manual” and supplemented by campus planning and ecological working method, this research implemented a field investigation on the real situations of the three evaluation indexes - biodiversity, green biomass level and soil water retention in building – inside the campuses, so as to obtain basic data for evaluating the ecological index groups. And then, the statistical regression method was used to proceed for analyzing the related influential factors, so that to understand the ecological index groups differences at new and old schools.

**Keywords: Green Building, Biodiversity, Greenery, Soil Water Content**

## 一、緒論

地球環境永續發展已為全球重要趨勢，近年來台灣頻遭受地震、土石流、山坡地災變及乾旱淹水之苦，使民眾對「永續發展」政策期盼殷切，1996年行政院成立永續發展委員會，「綠建築」已成為國家發展之永續重點。綠建築以台灣亞熱帶氣候的研究為基礎，充分掌握國內建築物的耗能、耗水、排水、環保之特性，訂定綠建築評估指標系統，2005年建築技術規則「綠建築專章」開始實施，對於建築基地綠化、基地保水及建築節約能源三項設計技術規範，已正式強制納入建築設計之要求。

學校具有大面積的建築戶外空間，而校園戶外空間若能符合「綠建築」指標，則對改善校園或都市生態環境將更具效益，故教育部提出「新校園運動」，擬定綠色學校計畫，明確指出建構綠色校園環境之目標。綠建築含括四大指標群細分為九大指標，本研究針對生態指標群之「生物多樣性」、「綠化量」及「基地保水」等三項評估指標進行調查，探討校園實質環境之現狀，建構基礎調查資料，可就其現有缺點進而提出改善建議，另可提供該項評估指標更多的數據資訊，以期作為日後該項指標調整、修正之參考。

## 二、研究目的及範圍

現行「綠建築九大指標」中，與校園建築戶外空間最為密切者為「生物多樣性」、「綠化量」及「基地保水」等三項指標，本研究以「綠建築指標評估手冊(2007年更新版)」<sup>1</sup>為依據，研究範圍針對彰化市2003年全新設立之「大成國小」與市內面積相近之「民生國小」、「南興國小」及「大竹國小」等4所學校，以田野調查方式進行調查，配合相關文獻回顧，進行「生物多樣性」、「綠化量」及「基地保水」等三項評估指標之分析比較，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，期望達成目的如下：

- 1、調查新舊校園「生態指標群」之環境現況並比較其差異性。
- 2、瞭解目前彰化市之國民小學校園「綠建築」之發展現況。
- 3、建置「生物多樣性」、「綠化量」及「基地保水」指標之基礎調查資料庫，而得知綠校園改造的績效。

## 三、理論與文獻回顧探討

本研究主要理論是以「綠建築」之理論為基礎，校園規劃理論為輔，針對「生物多樣性」、「綠化量」及「基地保水」評估指標的相關文獻進行回顧，以作為實地調查及分析建議之基礎。

<sup>1</sup> 2007年更新版為該手冊的第六次修訂(97年1月1日起適用)，即累積七年來一千餘件綠建築審查案件的實務結晶，並融合內政部建築研究所數十案研究計畫成果，以此做為我國推動綠建築政策的新準據。

### 3.1 「生物多樣性指標」相關理論回顧

生物多樣性係在於顧全「生態金字塔」最基層的生物生存環境，亦即在於保全蚯蚓、蟻類、細菌、菌類之分解者、花草樹木之綠色植物生產者以及甲蟲、蝴蝶、蜻蜓、螳螂、青蛙之較初級生物消費者的生存空間。「綠建築解說與評估手冊」2007年更新版，「生物多樣性指標」專指廣域的生物棲地與生物交流之基盤，面積達1公頃以上之基地規模才適用於本指標之評估，因此僅適用於大型基地之開發評估，目的主要在於提升大基地開發的綠地生態品質，尤其重視生物基因交流路徑的綠地生態網路系統。本指標鼓勵以生態化之埤塘、水池、河岸來創造高密度的水域生態，以多孔隙環境以及不受人為干擾的多層次生態綠化來創造多樣化的小生物棲地環境，同時以原生植物、誘鳥誘蝶植物、植栽物種多樣化、表土保護來創造豐富的生物基盤。

#### 3.1.1 總綠地面積比： $X_i=100 \times (A_x-0.15)$

變數說明：

$A_x$ ：總綠地面積 / 基地面積

#### 3.1.2 基地內喬木歧異度：

$$X_t = 0.4 \times SDIt$$

$$SDIt = \frac{\sum_{i=1}^m Nt_i \times (\sum_{i=1}^n Nt_i - 1)}{\sum_{i=1}^n (Nt_i \times (Nt_i - 1))}$$

變數說明：

$X_t$ ：喬木歧異度得分，無單位

$SDIt$ ：喬木辛普森歧異度指標計算值，無單位

#### 3.1.3 複層雜生混種綠化：

$$X_h = 20.0 \times (\text{複層綠化綠地總面積} / \text{總綠地面積})$$

### 3.2 「綠化量指標」相關文獻回顧

綠化被公認為唯一可吸收大氣二氧化碳最好的策略，有助於減緩地球氣候日益暖化的危機。「綠建築解說與評估手冊」2007年更新版，「綠化量指標」評估法是以植物對樹葉光合作用之實驗值，解析而得的CO<sub>2</sub>固定效果。其數據代表某植物自幼苗成長至40年成樹之間CO<sub>2</sub>固定量kg/m<sup>2</sup>。採用40年生命週期評估法，即一般鋼筋混凝土建築物壽命及社區的生命週期約為40年。本指標評估並無樹徑、樹高的限制，也不要求民眾移植大樹來綠化，符合「綠化自小樹苗種起」的生態綠化政策。

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

$TCO_2$  之合格判斷公式如下：

$$TCO_2 > TCO_2 c = 1.5 \times (0.5 \times A' \times 500)$$

$$A' = (A_0 - AP) \times (1 - r)$$

變數說明：

$TCO_2$ ：基地綠化之總  $CO_2$  固定量計算值 (kg)。

$TCO_2 c$ ：綠建築綠化總  $CO_2$  固定量基準值 (kg)。

$G_i$ ：某植栽種類之單位面積  $CO_2$  固定量 ( $kg/m^2$ )。

$A_i$ ：某植栽種類之栽種面積 ( $m^2$ )。

$\alpha$ ：生態綠化優待係數。

$A_0$ ：基地總面積 ( $m^2$ )。

$A_p$ ：不可綠化面積 ( $m^2$ )，學校類建築之田徑場、球場、戶外游泳池等，運動場地以場地線內面積計之。

$A'$ ：最小綠地面積 ( $m^2$ )，不得低於基地總面積 15%。

$r$ ：法定建蔽率，若為學校類建築基地整體校地全區檢討時，強制令  $r=0.4$ 。

### 3.2 「基地保水指標」相關文獻回顧

基地的保水性能係指建築基地內自然土層及人工土層涵養水分及貯留雨水的功能。「綠建築解說與評估手冊」2007年更新版，綠建築之「基地保水指標」是藉由增加基地的透水設計並廣設貯留滲透水池的手法，以促進大地之水循環能力、改善生態環境、調節微氣候、緩和「都市熱島效應」現象。

$$\lambda = \frac{\text{開發後基地之保水量 } Q'}{\text{原土地保水量 } Q_0} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{A_0 \cdot f \cdot t} \geq \lambda_c$$

變數說明：

$Q'$ ：各類保水設計之保水量總和 ( $m^3$ )，即  $\sum_{i=1}^8 Q_i$

$Q_0$ ：原土地保水量 ( $m^3$ )， $Q_0 = A_0 \times f \times t$ 。

$Q_i$ ：各類保水設計之保水量 ( $m^3$ )。

$\lambda$ ：基地保水指標，無單位。

$\lambda_c$ ：基地保水指標基準，無單位；學校校園整體評估採 0.5。

$A_0$ ：基地總面積 ( $m^2$ )。

$f$ ：基地最終入滲率 (m/s)。

$t$ ：最大降雨延時 (s)，取 86400s (24hr)。

## 四、實證研究

本研究以相關理論及文獻回顧為前置作業，以瞭解國內當前相關研究的內容與方向，並透過彰化縣政府教育處、網際網路及學校行政單位取得樣本學校之相關基本資料，再藉由田野調查<sup>2</sup>取得各樣本學校之現況資料，並經資料整理與製圖達到資料建檔之目的，最後以統計軟體進行因子分析，研究內容如下。

### 4.1 實證研究調查樣本界定

彰化市為彰化縣人口數最多之鄉鎮，都市化程度最高，計有人口數 23 萬 5,444 人，約佔全縣人口數 1/6，目前有 16 所國民小學，本研究以 2003 年（綠建築實施後）全新設立之「大成國小」與市內校園規模達 2 公頃之「民生國小」、「南興國小」及「大竹國小」等 4 所學校進行研究調查，調查時間為 2007 年 11 月~2008 年 4 月完成田野調查作業。經資料的整理與計算後，本研究建置了該學校校園「生物多樣性」、「綠化量」、「基地保水」、「校園植栽表及配置圖說」之基礎調查資料庫。

### 4.2 學校基本資料分析

由表 1 可知，4 所樣本學校之平均校地面積約為 2.1 公頃規模相當，3 所位於都市計畫區內，1 所位於都市計畫區外。彰化市明星學校「民生國小」學生總人數 3,255 人為最多，建蔽率 32.49% 最高，相對每一個學生分配到的校內空地面積 4.28 m<sup>2</sup> 最少（「大成國小」21.15 m<sup>2</sup> 最多）；2003 年設立之「大成國小」學生總人數 829 人最少，建蔽率 11.5% 最低。另都市計畫外之「大竹國小」學生總人數為「民生國小」之 1/2，故學生分配之校內空地面積及球場面積（含操場之跑道）約為「民生國小」學生之 2 倍。「南興國小」學生總人數為 1,183 人建蔽率卻高達 28.23%，大於學生總人數為 1,647 人而建蔽率僅為 26.11% 的「大竹國小」。

表 1 學校基本資料

基本資料	校別			
	大成國小	民生國小	南興國小	大竹國小
環境屬性	都市計畫內	都市計畫內	都市計畫內	都市計畫外
校地面積 (m <sup>2</sup> )	21,620	21,846	21,455	22,142
建築面積 (m <sup>2</sup> )	2,487	7,097	6,056	5,782
建蔽率 <sup>3</sup> (%)	11.5	32.49	28.23	26.11
學生總人數 <sup>4</sup> (人)	829	3,255	1,183	1,647
空地總面積 (m <sup>2</sup> )	19,133	14,749	15,399	16,360
學生分配之球場面積 (m <sup>2</sup> /人)	1.88	1.18	2.91	2.49
圍牆外人行步道面積 (m <sup>2</sup> )	1,598.60	815.29	1,716	0
學生分配之校內空地面積 (m <sup>2</sup> /人)	21.15	4.28	11.57	9.93

資料來源：本研究整理，2008

<sup>2</sup> 田野調查：利用「測距輪」、「皮捲尺」及「鋼捲尺」作為量測工具，輔以相機紀錄拍攝現場實景。

<sup>3</sup> 彰化市都市計畫法規定「文小用地」法定建蔽率 50%、容積率 250%，另非都市土地使用管制規則：「特定目的事業用地」法定建蔽率 60%、容積率 180%。

<sup>4</sup> 資料來源：彰化縣政府全球資訊網 [www.chcg.gov.tw/](http://www.chcg.gov.tw/) 教育處/彰化縣各國民中小學校基本資料平台，更新時間 96 年 11 月~97 年 2 月。

## 4.3 校園「綠化量指標」現況分析

本研究依據「綠建築解說與評估手冊」2007年更新版調查結果，「綠化量指標」為「南興國小」及「大成國小」合格，詳表2及表3。「南興國小」僅在闊葉小喬木、針葉喬木、疏葉喬木及灌木表現上優於其他學校，惟老樹<sup>5</sup>數量最多為69棵，且任其枝葉擴展不予修剪，故40年校地綠化總TCO<sub>2</sub>固定量為4,580公噸，表現最佳，次為2003年新設校成立的「大成國小」，其生態複層、闊葉大喬木（植栽間距較佳，獲較高之CO<sub>2</sub>固定量效果）、多年生蔓藤、草花花圃、自然野草地及草坪表現均為其他學校之冠，TCO<sub>2</sub>固定量為4,349公噸。

「大竹國小」不合格原因：老樹有42棵惟修剪枝葉、生態複層及灌木面積最少；另綠化表現最差為「民生國小」，其喬木數量237棵居4校亞軍，惟棕櫚類植栽過多、植栽間距太近，灌木、多年生蔓藤、草花花圃、自然野草地及草坪等均表現不佳，且修剪老樹，故TCO<sub>2</sub>固定量僅為2,060公噸。

表2 「綠化量指標」計算結果

植栽種類		固定量 Gi	大成國小栽種面積 Ai (m <sup>2</sup> )	民生國小栽種面積 Ai (m <sup>2</sup> )	南興國小栽種面積 Ai (m <sup>2</sup> )	大竹國小栽種面積 Ai (m <sup>2</sup> )
生態複層	大小喬木、灌木、花草密植混種區	1200	687.12	443.02	499.37	290.48
喬木	闊葉大喬木	900	2,604.41	669.33	2496.81	1733.44
	闊葉小喬木、針葉喬木、疏葉喬木	600	1,104.12	835.95	1961.18	1274.17
	棕櫚類	400	10	759.80	79.69	106.56
灌木		300	1,336.05	300.76	1523.96	292.99
多年生蔓藤		100	136.50	0	0	0
草花花圃、自然野草地、草坪		20	4962.21	132.70	3401.62	285.52
校地綠化總 TCO <sub>2</sub> 固定量 (kg) Gi×Ai			4,348,694.20	2,060,214.80	4,580,177.40	2,809,405.40
合格基準值 TCO <sub>2c</sub> 固定量 (kg)			4,317,498.75	4,053,105.00	4,051,987.50	4,060,691.25
合格判斷公式 TCO <sub>2</sub> > TCO <sub>2c</sub>			合格	不合格	合格	不合格

資料來源：本研究整理，2008

表3 學校植栽資料

校別	樹種		蔓藤 (種)	草花 (種)	老樹	喬木歧異度	灌木歧異度	現校址創校年
	喬木 (種/株)	灌木 (種/株)						
大成國小	32/194	28/3190	5	15	3	4.32	1.84	2003
民生國小	37/237	30/2110	0	11	16	3.99	2.03	1927
南興國小	35/245	27/1001	0	6	69	2.72	2.45	1968
大竹國小	39/216	25/1607	0	5	42	8	1.55	1916

料來源：本研究整理，2008

<sup>5</sup> 「綠建築解說與評估手冊」2007年更新版頁58，老樹定義為米高徑30cm以上或樹齡20年以上之喬木謂老樹，但移植之老樹視同新樹。

#### 4.4 校園「生物多樣性指標」現況分析

「生物多樣性指標」之總得分為正（+）140 分、負（-）35 分，學校位於都市計畫區內  $\sum Xi > 55$  分及格、都市計畫區外  $\sum Xi > 60$  分及格。生態綠網評估總分為  $Xi=57$  分佔的比例最重，詳表 4。

「生態綠網」評估，只要綠地面積佔基地面積 55% 以上，總綠地面積比項目即可獲評滿分 40 分，如「大成國小」；另「民生國小」綠地面積佔基地面積約 20%，故獲評 6 分，「大竹國小」位於彰化市都市計畫外，惟學校瀝青混凝土及 PU 之鋪面太多，綠地面積最少，僅得 4 分。「民生國小」在周邊綠網系統及生物廊道表現最差，因其位於都市計畫區內，校地緊鄰商業區，週邊無相關綠帶串聯基地內之綠網，學校大門鄰縣道 139 線，交通流量大，且因學生人數最多，建蔽率高，綠地為建物或走道截斷，故此 2 項目皆評分為 0 分，另立體綠網評分優於其它學校，因學校於透空欄杆之走廊上緊密擺放高約 1 公尺以上之灌木盆栽（為學童安全考量），覆土深 70 公分，故建築物立面各樓層出現立體綠網之效果。

「小生物棲地」評估，因「民生國小」及「大竹國小」無水池設置，故無水域生物棲地，其評分項目自然護岸及生態小島為 0 分。綠塊生物棲地之混合密林及灌木草原以「大成國小」及「大竹國小」表現最佳皆得滿分。多孔隙棲地之生態邊坡圍牆及濃縮自然評估，「民生國小」因建蔽率高及學生數達 3,255 人，其校地並未發現多孔性之棲地，故其表現最差。另其他小生物棲地，並未發現各樣本學校針對某一種生物棲地予以設計改善，故皆評為 0 分。

「植物多樣性」評估，本研究因囿於時間僅針對基地內之喬木歧異度及複層雜生混種綠化進行評估。喬木歧異度方面，因校園內喬木枝葉茂密，故每平方公尺之  $CO_2$  固定量最大，效果最佳，但除考量喬木數量外，應同時考量基地內喬木歧異度，即植物品種之多寡，以及各個植物品種在全體植物族群中所佔之比例，本研究以辛普森歧異度指標計算，由表 3、表 7-表 10 及圖 3-圖 6 可知喬木歧異度以都市計畫外之「大竹國小」基地內部喬木種類最多樣化，數量均佈化最優質；喬木數量最多為「南興國小」，但其小葉榕數量 79 棵（老樹 36 棵）及黃花風鈴木 32 棵（行道樹），使基地內喬木歧異度表現最差，另「民生國小」單一樹種大王椰子高達 60 棵，原校園內喬木種類及數量均優於「大成國小」，惟數量分佈不均，故表現劣於「大成國小」。複層雜生混種綠化之評估係以複層綠地綠化總面積/總綠地面積，「大成國小」最優，「南興國小」最差。

「土壤生態」評估，經調查各樣本學校，對於表土保護、有機園藝、廚餘堆肥及落葉堆肥並無相關特殊處理。「建築設計生物共生」評估，對於戶外照明公害，經調查各樣本學校，基地範圍內之照明燈具為庭園燈且設置遮光罩防止光源炫光。鄰地投光光害僅「民生國小」因緊鄰商業區，閃光燈招牌 2 組足以造成鄰戶炫光。另反光光害部分樣本學校之玻璃皆為透明玻璃，無造成鳥類撞擊及交通公害疑慮之反射玻璃。

本研究雖未評估「基地內灌木歧異度」及「原生或誘鳥誘蟲植物」等2項目，惟綜合評估結果「大成國小」及「南興國小」獲致之評分皆已達合格標準，另「民生國小」及「大竹國小」縱使該2項目滿分，亦未達及格標準。

#### 4.5校園「基地保水指標」現況分析

本指標僅「大成國小」合格，詳表5及表6。綠地、被覆地、草溝以「大成國小」的10,625.30 m<sup>2</sup>面積最大，約50%校地面積，該校園之不透水鋪面、不透水人行步道、跑道及球場總計7265.19 m<sup>2</sup>約佔34%校地面積，故可得知，學校建築規劃時，校地面積約3成之土地可規劃成不透水性，且綠地、被覆地、草溝規劃面積須達校地面積5成以上之設計即可符合綠建築指標之之基地保水要求。另須注意校地不透水性面積雖規劃約3成左右，惟綠地、被覆地、草溝規劃面積未達建築面積5成以上即造成無法達成綠建築指標之基地保水要求，如「南興國小」。

「民生國小」因學生人數較多，學校為利於使用及管理，致該校球場面積較大，基地不透水鋪面亦較高，且位於都市計畫區內，學校建築鄰建築線退縮設計成人行步道，故總計不透水鋪面達校地面積47%，基地保水當然無法合格。另「大竹國小」位處都市計畫區外，理論上基地保水之表現應優於其他都市計畫範圍內之樣本學校，但其學生人數約為「民生國小」的1/2，跑道及球場之面積卻大於「民生國小」，校園內不透水鋪面反居其它樣本學校之冠，校園內總計校地不透水面積佔校地面積55%，基地保水表現最差。

表 4 「生物多樣性指標」評估結果

大分類	小分類	設計項目	說明	最高得分	大成國小 Xi	民生國小 Xi	南興國小 Xi	大竹國小 Xi
生態綠網		總綠地面積比 Ax	得分計算 $X_i = 100.0 \times (A_x - 0.15)$	40 分	40	6	28	4
		周邊綠網系統	綠地配置連結周邊外綠地系統(採綜合定性判斷)	3 分	2	0	2	2
		區內綠網系統	基地內綠地連貫性(採綜合定性判斷)	4 分	3	2	3	3
		立體綠網	得分計算 $X_i = (\text{建築物立面或地面二層以上綠化平面面積 } G_a \text{ (m}^2\text{)} \times (0.05 \text{ (分/m}^2\text{)}))$	5 分	2	3.5	1.5	0
		生物廊道	興建具導引、安全、隱蔽功能的涵洞、陸橋，以提供生物穿越道路的生物廊道(斟酌給分)	5 分	1	0	0	2
小生物棲地	水域生物棲地	自然護岸	$X_i = \text{自然護岸長度 } L_i \text{ (m)} \times 0.1 \text{ (分/m)}$	8 分	4.7	0	3.7	0
		生態小島	$X_i = \text{自然島嶼面積 } A_i \text{ (m}^2\text{)} \times 0.1 \text{ (分/m}^2\text{)}$	6 分	0	0	5.4	0
	綠塊生物棲地	混合密林	$X_i = \text{混合密林面積 } (A_i - 30.0) \text{ (m}^2\text{)} \times 0.2 \text{ (分/m}^2\text{)}$	8 分	5	2	4	5
		灌木草原	$X_i = \text{雜生灌木草原面積 } (A_i - 30.0) \text{ (m}^2\text{)} \times 0.1 \text{ (分/m}^2\text{)}$	5 分	5	4	2.5	5
	多孔隙棲地	生態邊坡圍牆	$X_i = (\text{生態邊坡與圍牆長度 } L_i - 10.0) \text{ (m)} \times 0.1 \text{ (分/m)}$	4 分	3.8	0	2.1	2
		濃縮自然	$X_i = \text{濃縮自然面積 } A_i \text{ (m}^2\text{)} \times 0.5 \text{ (分/m}^2\text{)}$	3 分	0	0	2	3
		其他小生物棲地	由設計者提出有利於小生物棲地設計說明以供認定	認定值	0	0	0	0
植物多樣性		基地內喬木歧異度 SDIt	計算 $X_t = \text{SDIt} \times 0.4$	8 分	4.32	3.99	2.72	8
		基地內灌木歧異度 SDIb	計算 $X_b = \text{SDIb} \times 0.3$	6 分	1.84	2.03	2.45	1.55
		原生或誘鳥誘蟲植物	得分計算 $X_a = 5.0 \times r_a$	5 分	2.75	2.35	2.4	2.05
		複層雜生混種綠化	$X_h = 20.0 \times r_h$	10 分	5.2	1.9	1.1	1.4
土壤生態		表土保護	對於原有表土層 50cm 土壤有適當堆置、養護並再利用者	6 分	0	0	0	0
		有機園藝	全面採用堆肥、有機肥料栽培者	4 分	0	0	0	0
		廚餘堆肥	實際殺菌發酵處理之廚餘堆肥	5 分	0	0	0	0
		落葉堆肥	實際絞碎覆土、通氣、發酵、翻堆澆水之落葉堆肥處理	5 分	0	0	0	0
建築設計生物		戶外照明公害	$X_i = \text{非防眩光型戶外燈具 } n_i \times (-0.1)$	-5 分	0	0	0	0
		鄰地投光公害	$X_i = \text{鄰地投光公害之照明燈具 } n_i \times (-1.0)$	-10 分	0	-2	0	0
		反光公害	計算 $X_i = \text{可見光反射率 } R_i \geq 0.2 \text{ 之玻璃面積 } A_{Gr} \times (-0.05)$ ，對低 $\eta_i$ 玻璃 ( $\eta_i$ 小於 0.4 者) 查核	-20 分	0	0	0	0
註：以上各項得分不一定全給分，可視其條件斟酌給分			$+140 \text{ 分及 } -35 \text{ 分總得分 } \Sigma X_i =$ 都市計畫範圍內基地及格分數 55 分，區域計畫範圍內基地及格分數 60 分。		80.61 合格	25.77 不合格	62.87 合格	31 不合格

資料來源：本研究整理，2008

表 5 校地保水面積表

資料		校別		大成國小	民生國小	南興國小	大竹國小
		基本					
環境屬性				都市計畫內	都市計畫內	都市計畫內	都市計畫外
校地面積 (m <sup>2</sup> )				21,620	21,846	21,455	22,142
空地 面積	空地總面積 (m <sup>2</sup> )			19,133	14,749	15,399	16,360
	跑道及球場 Ap (m <sup>2</sup> )			1,556.11	3,832.2	3446.16	4094.48
	綠地、被覆地、草溝 (m <sup>2</sup> )			10,625.30	1,789.29	6737.42	3775.72
	透水鋪面、水池 (m <sup>2</sup> )			1,242.51	2,782.17	2565.72	406.37
	不透水人行步道 (m <sup>2</sup> )			1,598.60	815.29	1,716	0
	不透水鋪面—瀝青混凝土、PC、 PU、壓克力等材質 (m <sup>2</sup> )			4,110.48	5,530.05	933.70	8083.43
Σ 校地不透水面積佔校地面積比率 (%)				34	47	28	55

資料來源：本研究整理，2008

表 6 「基地保水指標」評估結果

保水量計算		校別			
		大成國小	民生國小	南興國小	大竹國小
原土地保水量 Q <sub>0</sub> (m <sup>3</sup> )		186,796.80	188,749.44	185,371.20	191,306.88
各類保水 設計保水 量	綠地、被覆地、草溝保水量 Q <sub>1</sub> (m <sup>3</sup> )	91,802.60	15,459.47	58,211.31	32,622.22
	透水鋪面 Q <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> )	10,359.27	24,107.50	21,442.42	3,521.20
	貯集滲透空地或景觀貯集滲透水池 設計保水量 Q <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> )	430.46	0	816.84	0
	地下礫石滲透貯集保水量 Q <sub>5</sub> (m <sup>3</sup> )	11.28	0	0	0
開發後基地保水量 Q' (m <sup>3</sup> )		102,603.61	39,566.70	80,470.57	36,143.42
基地保水指標 λ		0.55	0.21	0.43	0.19
合格基準值 λ <sub>c</sub>		0.5			
合格判斷公式 λ > λ <sub>c</sub>		合格	不合格	不合格	不合格

資料來源：本研究整理，2008

## 五、比較分析

### 5.1 「校地綠化總CO<sub>2</sub>固定量」與「學生密度」相關性分析

經本研究之迴歸分析結果，參見圖1，其 $R^2=0.57$ ，相關性高，研究設定信賴水準為95% ( $\alpha=0.05$ )，顯現各校學生密度高低，會影響校園綠化執行成效，惟高密度學生之明星學校，除優良的教學師資外，更需要也更應做好校園綠化，作良好的環境教學示範。

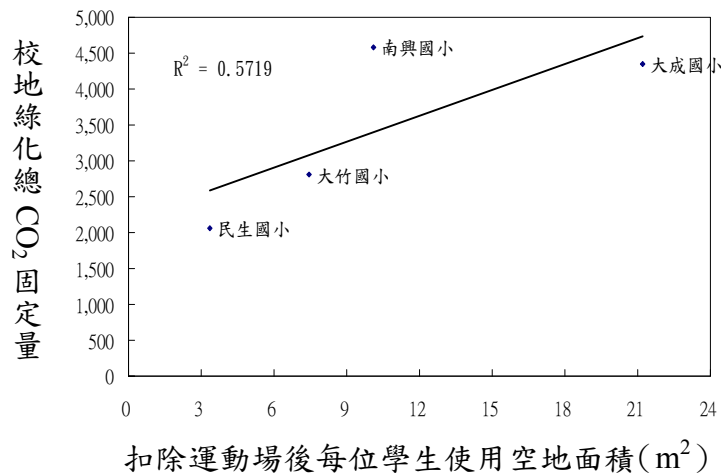


圖 1 校地綠化總 CO<sub>2</sub> 固定量與學生密度關係圖

### 5.2 校地總保水量與學生密度關係

經本研究之迴歸分析結果，參見圖2，其 $R^2=0.76$ ，相關性高，研究設定信賴水準為95% ( $\alpha=0.05$ )，學校學生人數多，學校管理者因於需要及便於管理，理所當然增加運動設施及不透水鋪面面積，惟該作法相對增加地表逕流，造成都市排水系統的負擔，也幫襯了都市熱島效應。

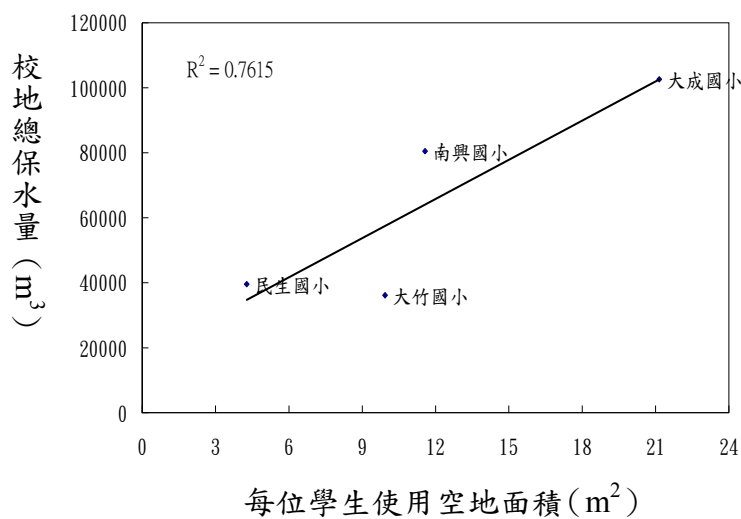


圖 2 校地總保水量與學生密度關係圖

## 六、結論及後續研究建議

### 6.1 結論

- (1)「綠化量指標」評估：新設立之「大成國小」及保留老樹最多之「南興國小」皆達合格標準。本研究發現舊學校其喬木植栽間距未達 5m 以上、棕櫚類植栽數量過多 (CO<sub>2</sub> 固定量約為闊葉大喬 1/2)、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。
- (2)「生物多樣性指標」評估：新設立之「大成國小」及「南興國小」皆達合格標準，綠化面積則直接影響生物多樣性指標之表現。綠地面積佔基地面積 55% 以上，總綠地面積比項目即可獲評滿分 40 分，如「大成國小」，另喬木及灌木歧異度需考量栽植之種類多樣化、數量均佈化，喬木歧異度以「大竹國小」表現最佳外 (滿分)，灌木歧異度則普遍表現不佳，且各樣本學校均有單一植栽數量偏高之情形。另 2003 年設立之大成國小於喬灌木歧異度皆表現不佳，因當時本指標更新版未有該項目之評估。
- (3)「基地保水指標」評估：僅新設立之「大成國小」達合格標準。本研究發現學校建築規劃時，校地面積約 3 成之土地可規劃成不透水性，且綠地、被覆地、草溝規劃面積須達校地面積 5 成以上之作法，即可符合綠建築指標之基地保水要求。另低建蔽率可提升校園空地面積，相對提昇基地保水量，本研究樣本學校缺乏多樣化基地保水概念。
- (4)學生密度影響校園綠化量及基地保水量。
- (5)相同規模之學校校地，新設學校對於綠建築生態指標群評估表現較優異。

### 6.2 後續研究建議

- (1)可再增加彰化市學校樣本數調查，以取得更客觀之數據。
- (2)中華民國「民法」、「刑法」及「兒童少年福利法」皆對 12 歲以下兒童之行為模式予以保護規範，但「綠建築解說與評估手冊」之「綠化量指標」規定無樹徑、樹高的限制，係針對全國綠建築實施之通盤性考量，惟國小學生的行為模式較不易掌握，建議應研議另加規範。

### 參考文獻

- 林憲德 (2001)，綠建築設計技術彙編，台北：內政部建築研究所。
- 林憲德 (2002)，國民中小學綠建築設計手冊，台北：內政部建築研究所。
- 陳富強 (2003)，綠建築評估指標於南投縣 921 重建之國民中小學之應用，碩士論文，逢甲大學，台中。
- 鄭明仁 (2003)，綠建築中「綠化量」及「基地保水」評估指標於國民中小學校園應用—以新竹市為例，台北科技大學學報，第 37-1 期，頁 467-484。
- 羅仁豪 (2004)，台中市綠地、廣場、廣兼停、停車場用地之綠化與保水效益研究，碩士論文，逢甲大學，台中。

徐秀梅 (2006), 工業區於建築「綠化量」與「基地保水」指標應用之研究, 碩士論文, 逢甲大學, 台中。

陳淑芳 (2006), 綠建築中「生態指標群」於台中市高中職校園之評估研究, 碩士論文, 逢甲大學, 台中。

內政部建築研究所 (2007), 綠建築評估與解說手冊2007年更新版, 頁41-74, 頁146-148, 台北: 內政部建築研究所。

附錄

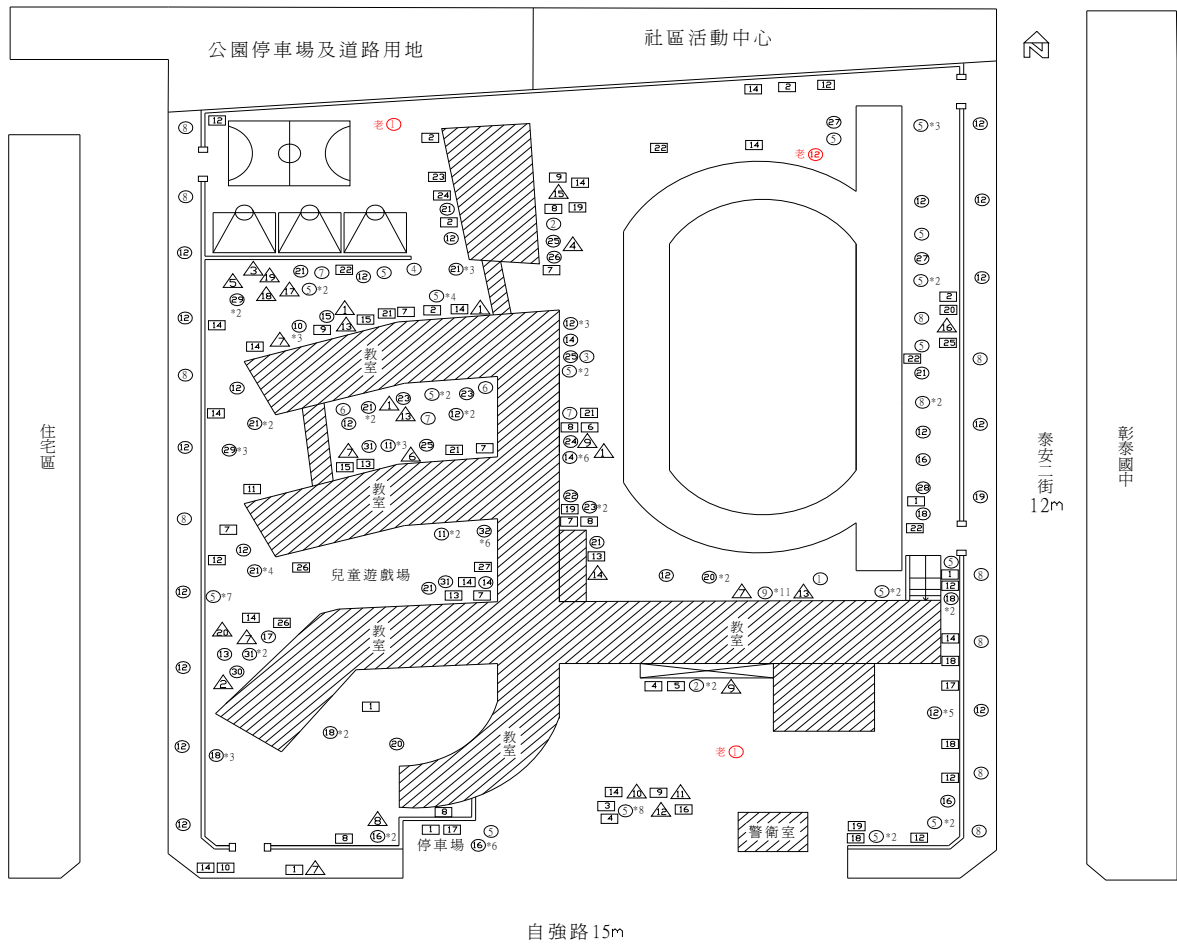


圖 3 彰化縣大成國小植栽圖

表 7 彰化縣大成國小植栽表

編號	植栽名稱	數量	編號	植栽名稱	數量	編號	植栽名稱	數量	編號	植栽名稱	數量	編號	植栽名稱	數量	編號	植栽名稱	數量			
①	小葉榕	3	⑫	樟樹	31	⑲	苦楝	4	①	金露花	12	⑭	九重葛	23	△	非洲鳳仙花	12	南美澎湖菊		
②	構樹	3	⑬	木瓜	1	⑳	血桐	1	②	朱槿	13	▽	變葉木	24	△	軟枝黃禪	△	姑婆芋	13	烏蘿
③	黑板樹	1	⑭	桑樹	8	㉑	酒瓶蘭	3	③	大王仙丹	14	▽	馬櫻丹	25	△	長春花	△	槐葉蘋	14	霹靂
④	菩提樹	1	⑮	酒瓶椰子	1	㉒	洋蹄甲	1	④	繁星花	15	▽	胡椒木	26	△	蘭嶼海桐	△	美鐵芋	15	山蘇
⑤	台灣欒樹	42	⑯	楓香	10	㉓	烏白	2	⑤	月橘	16	▽	細葉雪茄花		△	天堂鳥蕉	△	馬利筋	16	含羞草
⑥	鳳凰木	2	⑰	芭蕉	1	㉔	青楓	1	⑥	鵝掌藤	17	▽	千頭木麻黃		△	馬利筋	17	一串紅	17	圓幣草
⑦	小葉欖仁	2	⑱	木棉	8	㉕	山櫻花	5	⑦	桂花	18	▽	蔓榕		△	一串紅	18	圓幣草		
⑧	黃花風鈴木	12	⑳	阿伯勒	1	㉖	無花果	1	⑧	唐竹	19	▽	南天竹		△	洋紅西番蓮	19	荷花		
⑨	馬拉巴栗	11	㉑	龍柏	3	㉗	水黃皮	4	⑨	朱蕉	20	▽	桂花		△	蒜香藤				
⑩	蘭嶼羅漢松	3	㉒	白玉蘭	16	㉘	椰榆	6	⑩	沙漠玫瑰	21	▽	杜鵑		△	輪傘莎草				
⑪	福木	5	㉓	芒果樹	1				⑪	福祿桐	22	▽	樹蘭		△	大花咸豐草				

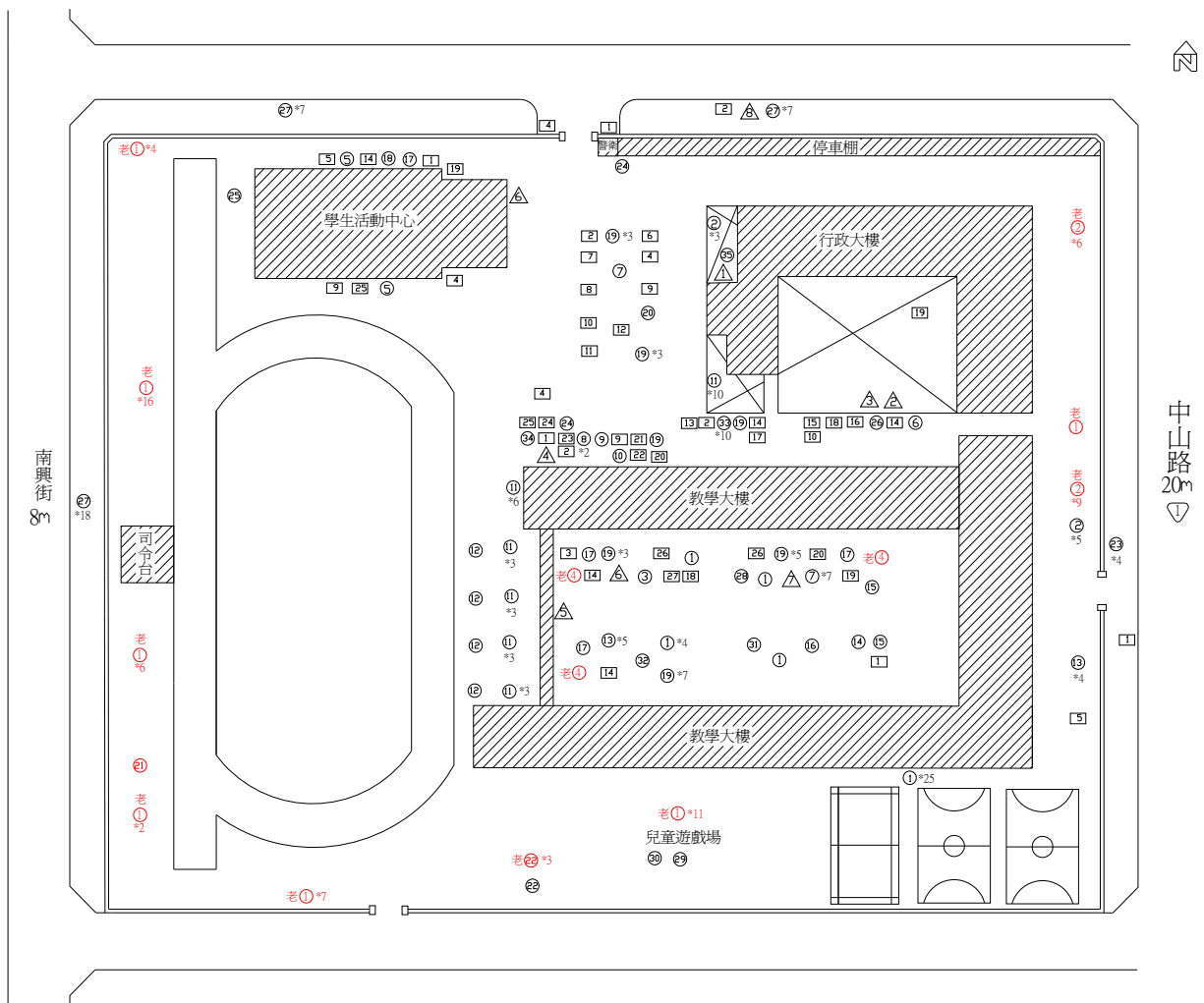


圖 4 彰化縣南興國小植栽圖

表 8 彰化縣南興國小植栽表

編號	植栽名稱	數量	編號	植栽名稱	數量	編號	植栽名稱	數量	編號	植栽名稱	編號	植栽名稱	編號	植栽名稱		
①	小葉榕	79	⑬	水黃皮	9	⑲	構樹	1	①	鵝掌藤	⑬	樹蘭	⑲	大王仙丹	△	黃金葛
②	黑板樹	13	⑭	宜梧	1	⑳	大葉欖仁	1	②	朱蕉	⑭	含笑花	⑳	月橘	△	荷花
③	樟樹	1	⑮	酒瓶椰子	2	㉑	黃花風鈴木	32	③	長春花	⑮	福祿桐	㉑	非洲紅	△	輪傘莎草
④	鳳凰木	3	⑯	美人樹	1	㉒	斑葉垂榕	1	④	矮仙丹	⑯	羽葉福祿桐	㉒	一串紅	△	腎厥
⑤	苦楝	2	⑰	大葉山欖	4	㉓	黃椰子	1	⑤	變葉木	⑰	馬纓丹			△	萬年青
⑥	桑樹	1	⑱	馬拉巴栗	1	㉔	刺孔雀椰子	1	⑥	蘇鐵	⑱	彩葉山漆莖			△	烏蘿
⑦	山櫻花	8	⑳	小葉欖仁	22	㉕	蘭嶼土沉香	1	⑦	繁星花	⑳	春不老				
⑧	羅漢松	2	㉑	觀音棕竹	1	㉖	麵包樹	1	⑧	南天竹	㉑	桂花				
⑨	印度橡膠樹	1	㉒	木麻黃	1	㉗	香椿	10	⑨	金露花	㉒	胡椒木				
⑩	台灣欖樹	1	㉓	大花紫葳	4	㉘	紅邊竹蕉	1	⑩	細葉雪茄花	㉓	毛茛莉				
⑪	福木	28	㉔	大王椰子	4				⑪	杜鵑	㉔	山德露兜樹				
⑫	羊蹄甲	4	㉕	五葉松	2				⑫	福建茶	㉕	錫蘭葉下珠				

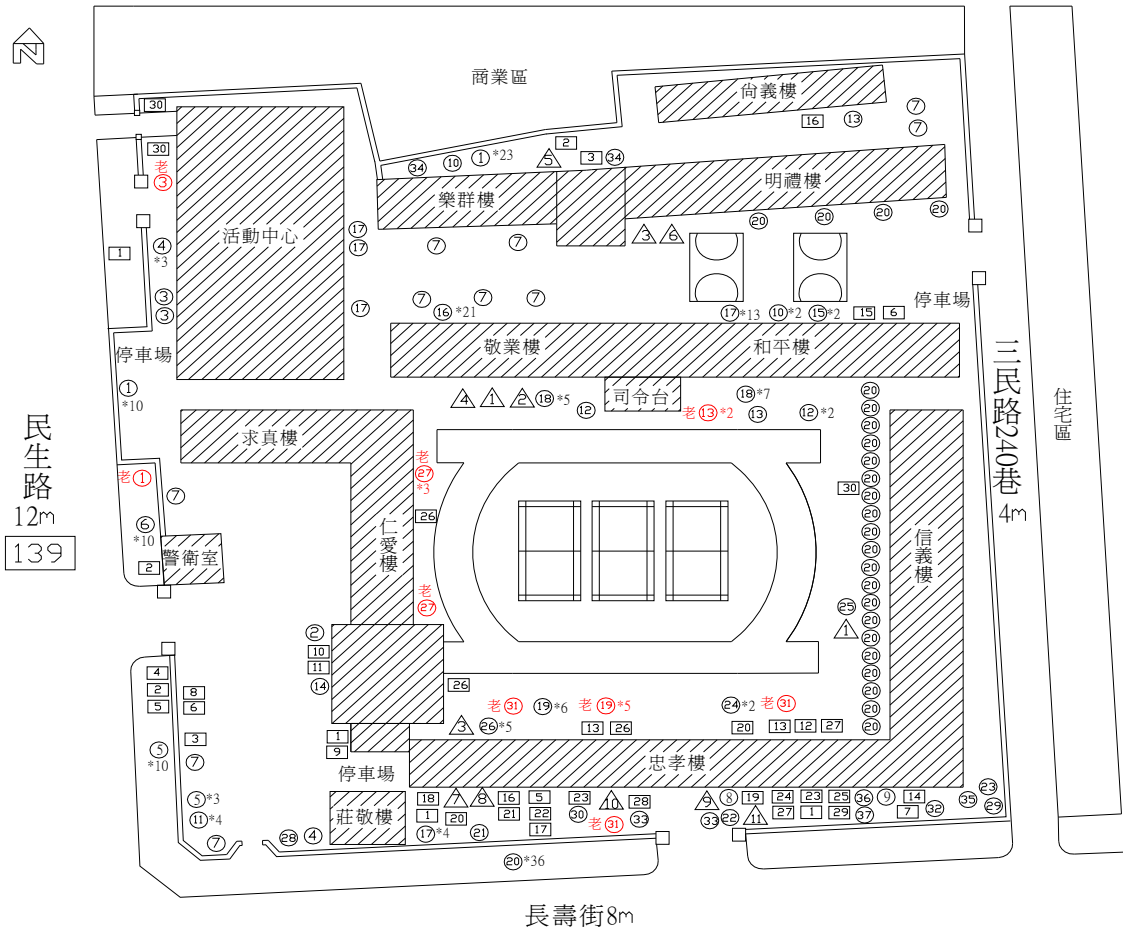


圖 5 彰化縣民生國小植栽圖

表 9 彰化縣民生國小植栽表

編號	植栽名稱	數量	編號	植栽名稱	數量	編號	植栽名稱	數量	編號	植栽名稱	數量	編號	植栽名稱	數量
①	小葉榕	24	⑭	葫蘆龍頭竹	1	⑳	石栗	3	①	金露花	14	⑳	玫瑰花	27
②	緬梔	1	⑮	馬拉巴栗	2	㉑	臭辣樹	1	②	矮仙丹	15	㉑	繁星花	28
③	黑板樹	3	⑯	蘭嶼羅漢松	21	㉒	木麻黃	1	③	大王仙丹	16	㉒	朱槿	29
④	竹柏	4	⑰	福木	20	㉓	桑樹	1	④	醉嬌花	17			
⑤	台灣欒樹	13	⑱	重陽木	12	㉔	小葉南洋杉	3	⑤	月橘	18			
⑥	觀音棕竹	10	⑲	大花紫葳	11	㉕	無患子	1	⑥	鵝掌藤	19			
⑦	小葉欖仁	10	⑳	大王椰子	60	㉖	毛柿	2	⑦	桂花	20			
⑧	柚子樹	1	㉑	可可椰子	1	㉗	酒瓶椰子	2	⑧	唐竹	21			
⑨	柳橙	1	㉒	欖木	1	㉘	構樹	1	⑨	麻葉繡球	22			
⑩	亞里垂榕	3	㉓	提琴葉榕	1	㉙	番石榴	1	⑩	沙漠玫瑰	23			
⑪	菩提樹	4	㉔	火焰木	2	㉚	蓮霧	1	⑪	麒麟花	24			
⑫	藍花楸	3	㉕	樟樹	1				⑫	黃蝴蝶	25			
⑬	鳳凰木	4	㉖	羅比親王海棗	5				⑬	變葉木	26			

表 10 彰化縣大竹國小植栽

編號	植栽名稱	數量	編號	植栽名稱
①	小葉榕	20	①	矮仙丹
②	樟樹	1	②	長春花
③	黑板樹	15	③	胡椒木
④	台灣樂樹	1	④	大王仙丹
⑤	小葉欖仁	3	⑤	細葉雪茄花
⑥	大葉欖仁	19	⑥	黃金榕
⑦	血桐	1	⑦	斑葉女貞
⑧	羅漢松	5	⑧	金露花
⑨	芒果樹	6	⑨	月橘
⑩	印度橡膠	6	⑩	鵝掌藤
⑪	福木	2	⑪	馬纓丹
⑫	構樹	25	⑫	鳳凰竹
⑬	木麻黃	6	⑬	南天竹
⑭	葫蘆龍頭竹	1	⑭	變葉木
⑮	大花紫薇	2	⑮	茶花
⑯	小葉南洋杉	6	⑯	短斑露兜樹
⑰	馬拉巴栗	5	⑰	麒麟花
⑱	鐵刀木	3	⑱	鑲邊鐵莖
⑲	大葉榕	1	⑲	厚葉榕
⑳	酒瓶椰子	4	⑳	蘇鐵
㉑	水黃皮	3	㉑	桂花
㉒	蒲葵	3	㉒	安石榴
㉓	火焰木	2	㉓	千頭木麻黃
㉔	吉貝	2		
㉕	大王椰子	10	△	射干
㉖	黃椰子	4	△	翠蘆荊
㉗	桃花心木	2	△	白紋草
㉘	蘭嶼羅漢松	6	△	樹牽牛
㉙	斑旅蕉	1	△	布袋蓮
㉚	龍柏	8		
㉛	圓柏	17		
㉜	山櫻花	4		
㉝	斑葉垂榕	2		
㉞	五葉松	4		
㉟	裂葉玲瓏椰子	1		
㊱	重陽木	2		
㊲	金絲竹	1		
㊳	美人樹	4		
㊴	竹柏	5		

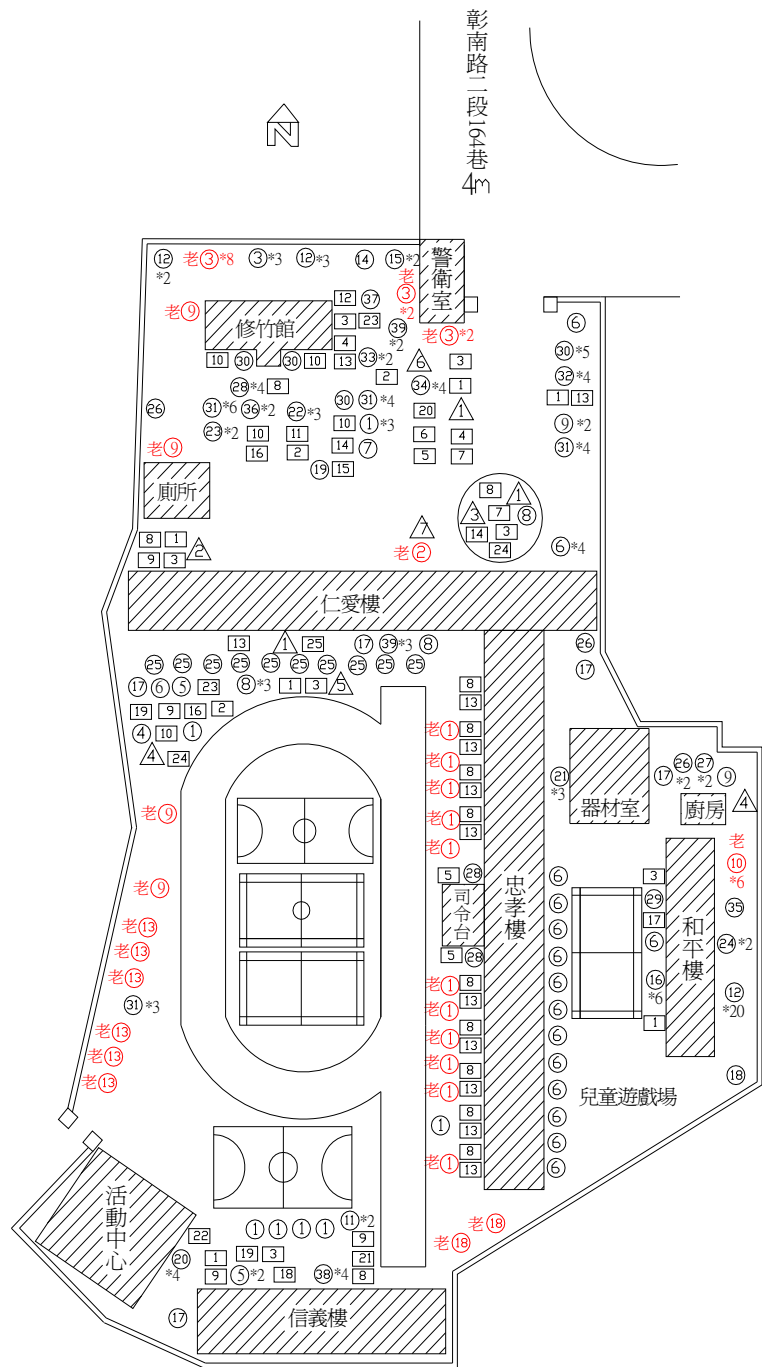


圖 6 彰化縣大竹國小植栽圖