行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

植物應用於零碳校園營造之策略與效益分析
研究成果報告(精簡版)

計 畫 類 別 ：個別型
計 畫 編 號 ：NSC 98-2410-H-035-041-SSS
執 行 期 間 ：98 年 08 月 01 日至 99 年 07 月 31 日
執 行 單 位 ：逢甲大學建築學系

計 畫 主 持 人：張莉欣

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：林冠文
碩士班研究生-兼任助理人員：黃音萍
碩士班研究生-兼任助理人員：林慧珊
碩士班研究生-兼任助理人員：蘇昱儒

處 理 方 式 ：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2 年後可公開查詢

中 華 民 國 99 年 10 月 31 日

植物應用於零碳校園營造之策略與效益分析

摘　要

在全球以低碳生活、零碳建築與全面植樹的方式來對抗全球暖化之潮流下，本研究以零碳校園為營造目標，以碳中和的觀點，探討校園的碳足跡與校園植物固定二氧化碳量是否可以達到碳中和，及配合植物綠化策略導入來協助達到碳中和的目標，並探討各種綠化策略的可行性與效益。本研究以台中縣市 16 所國小為研究對象，以現地調查法與訪談法進行學校碳足跡與植物固碳之資料收集，並分析學校之碳中和情形，另以問卷調查法了解教師對於各種綠化策略之可行性與效益認知情形。結果顯示，台中縣國小每人的碳足跡大於台中市的師生每人的碳足跡，而若以每平方公尺校地的二氧化碳排放量來看，台中縣的國小每單位校地面積之二氧化碳排放量遠小於台中市的國小；分析台中縣市國小的碳中和情形可發現，在比較屬於農村地帶之都市計劃區之台中縣國小校園其碳中和達成情形可以達到 100 %，相對位於台中市的學校則僅有 25 %的學校達成碳中和。當導入屋頂、建築物立面與校園圍牆等綠化策略發現，約有五分之一的學校可以轉為碳中和。問卷結果顯示：以薄層式屋頂綠化種植草花與景天科植物的綠化方式，或圍牆部分採取複層植栽的形式，受測者認為維管性與安全性高，另外生態、美質與教育方面的效益也可期。建築物立面垂直綠化部分則以外加支架與種植草花、小灌木的建物牆面綠化被受測者認為有最佳的維管性與安全性。

關鍵字: 碳中和學校, 碳足跡, 碳中和, 綠化策略

Strategies and Benefits Analysis on Using Plants to Create Carbon Neutral Schools

Abstract

In the global trend of fighting against global warming by low carbon living, zero carbon architecture and tree planting, in terms of carbon neutral the goal of the research is to create zero carbon school ground through offset school carbon emission by plants carbon fixation process. How to apply greening strategies to achieve carbon neutral, how could those strategies possibly be applied, and how their feasibilities are, would be worth of discussion. In the research, 16 elementary schools located at Taichung City and Taichung County were selected to explore their carbon footprint and carbon fixation by plants in campus. The site survey and interview were undertaken to collect the data for carbon neutral analysis. The questionnaire for school teachers was designed to evaluate the feasibility and efficacy of different green strategies. The results showed that average carbon foot prints per person of Taichung County elementary schools were greater than those in Taichung City. However, the average carbon emission per square meter of school ground in Taichung County was much less than those in Taichung City. Regarding the carbon neutral, 100 percent of schools in Taichung County have reached carbon neutral status, comparing to schools in Taichung City, they were only 25% achieved. In the cases studied, one fifth schools could become carbon neutral if they apply greening strategies, includes roof, building vertical wall and school wall greening. The results of questionnaire survey show that thin layers roof greening with grass or succulent plants and using multiple layering planting for school walls have higher feasibility. The greening strategies could increase ecological, aesthetic and educational values. Vertical greening with supporting structure and flowers and shrubs for building wall and school wall were regarding to be easily maintained and has high safety value.

Keywords: Carbon neutral school, Carbon footprint, Carbon neutral, Greening strategy

植物應用於零碳校園營造之策略與效益分析

Strategies and Benefits Analysis on Using Plants to Create Carbon Neutral Schools

壹. 研究動機與緣起

全球暖化現象已在世界各地造成災害，對人類生存嚴重的威脅，因此為了未來人類的生活能夠繼續保有安全舒適的生存環境，全球各地開始關切碳足跡與移除碳的議題，並且進一步著手進行許多植綠減碳、鼓勵碳中和的各項策略，以降低溫室氣體的排放活動，希望能達到有效減緩全球暖化現象之目標。學校是教導學生永續生活的教學場域，若可以在學校生活中即落實低碳生活與碳中和的營運，將有助於學童未來將此減少碳足跡方式的策略應用於其家戶日常生活上。本研究目的為瞭解都市中國小校園之碳排現況與計算校園中綠化植栽之固碳效益，分析是否都市小學的碳排與碳固定量能達到中和之情形。並且經由現地調查法揭示都市中國小校園基地二氧化碳固定量與個人平均碳排量，並將分析後之結果做為擬定植綠減碳策略建議學校減少校園碳排放或增加固碳植物，並依照綠建築計畫配合有效管理來達到校園碳排放與校園植物固碳量之中和。期能藉由研究結果之揭示讓學校師生朝向永續校園方向努力，且可由學校之植綠減碳策略實施促進周圍環境與鄰近社區的效習，共同為低碳排之永續環境的目標前進。

貳. 研究目的

本研究之研究目的條列如下：

一. 分析目前國民小學的營運碳足跡。

二. 比較都市型與鄉村型國小學營運碳足跡的差異。

三. 分析目前都市型與農村型國小碳中和達成情形。

四. 探討不同植物綠化策略之導入使國小達成碳中和之情形。

五. 探討各種綠化策略於學校施行的可能性與效益分析。

參. 文獻回顧

一. 碳足跡(carbon footprint)的定義

碳足跡（Carbon Footprint）是指人類活動所產生的二氧化碳量。地球因為溫室效應的氣體排放而造成暖化問題，但溫室氣體不只二氧化碳，還有其他物質，表示的方式皆以「碳」為度量單位，或以「二氧化碳」為度量單位；其表示的範圍有整個生命週期，也有的只有製造時的直接與間接排放。

一. 碳中和（carbon neutral 或 carbon neutrality）

是指總釋放碳量為零；亦即排放多少碳就作多少抵銷措施，來達到平衡。一般有兩個作法：

1、 推動使用再生能源，以補償因燃燒石化燃料而排放到大氣中的二氧化碳；最終目標是僅使用再生能源，而不產生任何二氧化碳，即所謂的後碳經濟)。

2、 通過碳交易付錢給其他國家或地區以換取其二氧化碳排放權。由於此一作法有如中古世紀的贖罪券，並未真正達成減少二氧化碳總排放量的效果，因而常遭受批評。

本研究則以學校為一個封閉單元，僅探討師生在校使用之碳足跡，及校園的綠化植栽固碳作用，將兩者與以抵銷計算碳中和的達成情形，為本研究操作型之定義。

二. 國內二氧化碳排放的來源

目前國內工業、商業、住宅等各部門所排放二氧化碳的情況於 2006 年所統計為能源工業(61.8%)、工業(19.54%)、運輸(13.57%)、商業(0.86%)、住宅(2.22%)、農林漁牧(1.07%)及其他(0.94%)，而各產業與家戶部門均又需要使用能源，可見能源的使用是造成碳排的重要原因 (工業技術研究院, 2006)。

三. 以家戶為單位的二氧化碳釋放量計算

目前各國政府與相關環境保護單位，常於網路提供以家戶為單位的簡易二氧化碳排放量試算表，可以協助家戶瞭解每年所釋出的二氧化碳，主要評估項目，包括家庭用電量、用水量、所用的瓦斯度數、桶裝瓦斯用量、汽車使用油量(或里程數)、機車使用油量(或里程數)、所使用的公車車資、捷運的使用次數等。目前我國各種生活家用與化石燃料使用釋碳量，整理如下表 1 所示，以做為基礎的家戶碳足跡計算，本研究將之轉換利用於學校碳足跡之計算。

四. 永續校園策略

永續校園(Sustainable school)的構想源自於歐、美、日等先進國家之生態學校及健康學校，指的是應用本土化之永續建築技術與生態式校園環境結合所建構而成，符合永續、生態、環保、健康等原則且與世界接軌的學習環境。最基本條件在於綠化。除了包括「綠色學校」，還包括「綠色大學」、「學校綠建築」等等的學校名詞(陳木城、林愛玲，2005)。永續校園植綠減碳策略方面的生態循環項目有複層生態綠化、校園垂直綠化、屋頂綠化、教學農園、親和性圍籬、落葉及廚餘堆肥等。(蔡厚男，2006、鄭正勇，2006)

五. 綠建築綠化量指標之二氧化碳固定量

綠建築綠化量指標將各類植栽以 40 年生命週計算其 CO_2 固定量，各類植物單位面積二氧化碳固定量，如表 2。本研究將依此表為計算校園碳螯合所移除二

氧化碳量的依據(林憲德, 2009)，其中表 2 是以建築物 40 年的生命週期為計算標準，故本研究於計算時將以數據轉換成每年平均二氧化碳固定量為計算標準。

肆. 研究方法

本研究研究方法依研究目的分為兩部分進行描述，一為國民小學碳足跡、二氧化碳固定量與碳中和之研究；另一為探討達成碳中和之綠化策略之可行性與效益之問卷調查評估分析。

一. 國民小學碳足跡、二氧化碳固定量與碳中和之研究

本研究以文獻回顧法蒐集國內外碳足跡定義與二氧化碳固定量之標準，並參照國內由內政部營建署所訂定之綠化量指標計算模式，歸納整理後建立「校園綠地之固碳計算標準」，並依此模式計算學校碳足跡與二氧化碳固定項目。

(一) 研究範圍與對象

本研究選以都市計畫區中的小學為研究對象，並依其所在區位為都市化較明顯的都市學校(位於市鎮都市計畫區)，還是座落於要為鄉村地帶(位於鄉街計畫都市計畫區)為研究對象，因地利之便及考量研究目的所欲聚焦之議題，隨機選擇符合研究意旨且位於台中縣市之國小後，詢問其配合意願，若抽樣所得之學校同意配合則進行相關調查與訪談工作，若無法配合則隨機抽取下一間學校。最終研究選定範圍隨機抽樣所得之學校為共 16 所，即位於台中市國小有國光國小、文昌國小、西屯國小、長安國小、忠孝國小、忠信國小、健行國小、惠文國小，共 8 所；另外位於台中縣國小有吉峰國小、僑孝國小、上安國小、鎮平國小、鹿峰國小、山陽國小、車籠埔國小及進德國小，共 8 所，進行現地資料調查收集與訪談。

(二) 研究方法

1、 調查項目

依據研究目的擬定調查項目如下：以現地調查法及訪談法收集學校過去一年(即2009年)的水電使用量、學校師生人數，與校園校舍建物配置情形，與校園綠化植栽種類與數量，可執行綠化的種類、位置與面積等。

2、 調查方法

(1). 學校基本資料調查

隨機抽選十六所學校後先以電話徵得各學校配合之意願，遂與各學校之總務主任或事務組長聯繫，並進行簡易訪談。本研究訪談共分為兩個時段，時間分別為2009年10月12日至10月15日，及2010年8月23日至9月5日。訪談內容主要想了解其節能減碳實施之狀況與校方無法落實之因素，並請校方提供近一年度(即2009年)之用水、電使用之度數、校地面積、校園平面配置圖以及校園之師生人數等等。

(2). 校園植栽現地調查

本研究現地調查時間於2009年10月及2010年8月，共計調查十八天，本

研究針對校園植被現況調查，配合利用皮尺、捲尺等工具測量方式及拍照輔助分析。主要測量的項目與認定方式，如：

A. 植栽種類之辨識：以目測方式辨識。

B. 植栽數量與面積：

a. 喬木：以目測方式計算喬木之數量並使用捲尺測量喬木之間距。

b. 灌木：以捲尺量測葉面之覆蓋面積。

c. 多年生蔓藤：以捲尺量測葉面之覆蓋面積。

d. 草花花圃、自然野草地、水生植物、草坪：以捲尺量測葉面之覆蓋面積。

C. 植栽之紀錄：以自製表格詳記各種植栽之名稱、種類、株數與面積，並拍攝記錄。

3、 分析項目與方法

(1). 學校之碳足跡分析:調查學校過去一年(2009年)的水電費使用情形，本研究以一年為計算標準乃因每年學校的師生人數會有所變動，本研究將以單位校地碳排與每人的碳排量為比較標準，而學生上下學交通之碳排量，因資料調查涉及學生家長使用交通工具使用燃料類型，故本研究不納入討論，僅以學校水、電使用度數及採用經濟部所公布的每度水電的二氧化碳排放係數作為學校二氧化碳排放量為計算標準。

(2). 學校二氧化碳固定量分析：以田野調查法調查學校綠化之基本資料，包括調查植物種類(包括喬木、灌木、藤蔓、草花、水生植物、草地)與數量，並以此為標準計算各校的二氧化碳固定量。

參照2009綠建築設計技術規範中之各種植栽單位面積二氧化碳固定量Gi（kg/m^2）表可分別計算生態複層、喬木、灌木、蔓藤類植物以及草花之二氧化碳固定量，而在2009綠建築設計技術規範中亦也說明校園內之喬木種植間距大於或等於5米時，以樹冠投影面積Ai基準值（25 m^2）計算其CO_2固定量，因此「綠化總CO2固定量」計算公式為：（生態複層總面積*1200）+（大喬木總株數*900*25）+（小喬木總株數*600*25）+（棕櫚類總株數*400*25）+（灌木總面積*300）+（蔓藤類植物覆蓋之總面積*100）+（草花之總面積*20），如表2所示，本研究將以此計算學校基地之現有植被之二氧化碳固定量，即導入學校綠化策略之二氧化碳固定量計算每年固定量，以依此計算各研究學校之碳中和達成情形。

二. 碳中和綠化策略之可行性與效益評估

1、 問卷調查法 主要目的是了解學校老師對於學校可茲採用的綠化方式，包括各式綠圍牆使用、綠屋頂與垂直綠化之綠化策略之可行性與

效益認知。

(1). 問卷設計:於參與台北市政府2009年執行之「臺北好好看系列計畫」之系列五「看見友善校園．亮麗校園圍籬」之學校中，挑選30所國民小學為研究案例學校，分別為大同區：太平國小、永樂國小；北投區：北投國小；南港區：玉成國小；內湖區：明湖國小、南湖國小、西湖國小、大安區：金華國小；中正區：螢橋國小；萬華區：西園國小、華江國小、新和國小；中山區：長春國小、中正國小、大直國小、懷生國小、五常國小；松山區：松山國小、敦化國小、民權國小；文山區：興隆國小、景興國小、辛亥國小、木柵國小；士林區：社子國小、劍潭國小、芝山國小、士林國小、葫蘆國小；信義區：永吉國小。經整理分類出採用不同綠化手法之圍牆形式，並加入常見垂直綠化與屋頂綠化之形式，製成問卷，主要內容項目包括圍牆、屋頂綠化與垂直綠化的生態性、美質、教育性、安全性、維管性等效益評估項目，各問項採李克特五等量表尺度，並調查受測對象的性別、年齡、教授科目與教學年資等基本資料。

(2). 問卷對象：本研究問卷對象為台中市國小教師，經逢機抽樣選取14所國民小學進行教師問卷調查，分別為西區：中正國小；中區：光復國小；南區：國光國小；北區：健行國小；西屯區：長安國小、西屯國小、上安國小、惠來國小、大鵬國小；南屯區：大墩國小、惠文國小；北屯區：僑孝國小、仁美國小、東光國小等14所國小教師參予本研究問卷調查。

(3). 問卷抽樣與回收：本研究於隨機抽樣的學校中各放置30~40份問卷，供老師們自由參與問卷填答，於2010年9-10月進行調查，共發放441份教師問卷，回收問卷389份，總回收率為88.6%。扣除多題漏答及答題複選狀況之無效問卷，共得312份有效問卷。

(4). 問卷分析：以spss軟體進行描述性統計、次數分析以了解各綠化策略的可執行性與效益。

伍. 結果與討論

一. 國民小學碳足跡、二氧化碳固定量與碳中和分析

(一) 國小校園綠化之二氧化碳固定量情形探討

80年以後成立的學校其平均單位面積校地二氧化碳固定量(每平方米7.2kg)高於80年以前成立的學校之二氧化碳固定量(每平方米5.0kg)。.由此看出80年代以後可能因為永續發展趨勢，促使校園規劃時更著重綠化(如表3)。80年以後成立的台中市惠文國小每平方公尺校地可固定的二氧化碳固定量僅4.5kg；因為該校的學生人數眾多，於學校法定空地內尚需置入許多的運動遊憩設施，故可茲綠化的校地相對有限，表3分析結果顯示：80年代以前成立的學校其單位校地之二

氧化碳固定量最低(如表3)。

將所調查的國小以所在的區位分為台中市與台中縣的國小比較其學校每年的二氧化碳固定量與單位校地面積二氧化碳固定量，表4的結果顯示台中市的國小每平方公尺校地的二氧化碳固定量為5.21kg，低於台中縣抽樣調查國小的7.71 kg/m^2。其中位在都市計畫邊緣地帶的車籠埔國小與吉峰國小有最高的單位校地面積的二氧化碳固定量，其值皆高於9 kg/m^2。

將本研究所調查的學校，依其是否皆受教育部永續校園計畫經費支持與否將其分成兩類型比較，可以發現執行永續校園計畫的學校其單位面積二氧化碳固定量(7.0 kg/m^2)高於未受補助但執行綠色學校理念的學校(4.6 kg/m^2)，由此結果可以看出有永續校園計畫補助學校可能因此有更多的經費改善校園綠化環境，因而有較高的二氧化碳固定量 (表 5)。

(二) 國小校園營運碳足跡情形探討

由表6分析結果顯示：民國80年以前成立之國小其單位校地面積的二氧化碳排放量，即每位使用者(師生)的碳足跡皆小於民國80年以後才設立的學校，這個結果與先前預期後期成立的學校建築應會更節能的結果並不相符合，80年代以後成立之學校，除上安國小、長安國小與惠文國小位在人口密度較高的台中市，且具有較多的學生數，其餘四所學校都位於台中縣，學生數較少，每班級的學生密度低，相同教室所使用的人數較少，則每個人的碳足跡可預見會較高。此結果於台中縣與台中市學校碳足跡的比較 7中可以窺見，台中縣國小每人的碳足跡(253.0kg/person)大於台中市的學生每人的碳足跡(142.4 kg/person)，但若以每平方公尺校地的二氧化碳排放量來看，台中縣的國小校地面積較大，且學校師生數較少，故每單校地面積之二氧化碳排放量於台中縣的學校遠小於台中市的學校(如表7)。

表8之數據顯示，執行永續校園學校的每位師生的平均碳足跡(199.8kg) 高於綠色校園計畫的平均碳足跡(140.3kg)，由表8的資料顯示，本研究以所抽樣的永續校園計畫執行學校與綠色校園理念執行學校相較，平均校地面積相近(分別為綠色校園28,811 m^2 與 29,291 m^2)，因為每個學校其所在區位的人口數不同，故反應在有不同的師生數，若計算每人碳足跡時可能會造成一定的偏差，故本研究暫不進行更進一步的分析，但若以單位校地的碳排量來討論，則永續校園的單位面積二氧化碳排放量(5.8 kg/m^2)低於綠色校園的碳排量(7.4 kg/m^2)(如表11所示)。由此亦可發現教育部永續校園所支持的學校其校地單位面積二氧化碳碳排量確實較低。

(三) 國小校園碳中和情形分析

由表9的數據顯示：民國80年代以前成立的學校，僅有40 % (即4/10)的學校達成碳中和，民國80年以後成立的學校有50 % (即3/6)的學校達成碳中和；若以平均碳中和的百分比看，80年以後的學校達成碳中和的平均值為46.9 %高於19.2

% (即 80年以前的平均值)。兩個平均值皆為正值，表示固碳量大於二氧化碳排放量。

若比較位於台中縣市國小的碳中和情形可以發現，在比較屬於農村地帶之都市計劃區之台中縣國小校園其碳中和達成情形可以達到100 % (即4/4)，而位於台中市的學校其達成碳中和的情形則為25%，即碳排量還是高於植物二氧化碳固定量，並且還有多餘所固定的二氧化碳固定量可以與其他密度較高之都市學校共享，利用結盟的動作共同的對抗全球暖化 (表 10)。

將本研究所調查的學校，依其是否皆受教育部永續校園計畫經費支持與否將其分成兩部分比較，可以發現沒有永續校園計畫補助而僅執行綠色學校營造理念之學校，表8分析結果顯示：其中 8間所抽樣取得學校中只有一所達成碳中和，而執行永續校園計畫的學校 8所就有 6所達成碳中和。又其中執行永續校園計畫的學校除達成碳中和以外仍有約 8成多於原先學校二氧化碳固定量。綠色學校和永續學校之平均碳固定量分別為4.6, 7.0 kg/m^2(如表5)，故可見在教育部的永續校園的計畫補助之下，多數學校確實可以落實改善計畫，達成碳中和之目標。由於綠色學校多座落於台中市區中，平均單位面積碳固定量也低於台中縣的學校，是否和學校總人數、校地面積、校舍面積與校區分區使用方式有關值得深入探討。

(四) 碳中和綠化策略之可行性評估

本研究共採用3種策略進行試算，分別使用灌木或草本植物屋頂花園，藤蔓植物或草花綠化建築物牆面與校園圍牆改為複層植栽的方式進行綠化之二氧化碳固定量試算，結果發現於本次所調查的16所學校原先有9所學校達到碳中和，導入灌木式屋頂花園並加入其他兩種綠化策略，發現有3所學校(忠信國小、鎮平國小、長安國小)由原先碳足跡大於二氧化碳固定量改進成為達成碳中和的目標(表12)。若屋頂綠化改為使用薄層式綠屋頂(即植草或植景天科植物)，通過的學校在本次調查的16所學校維持不變，仍為3所(表13)。因此推論校園綠化策略確實可以促進學校達成碳中和的目標，但確切成效仍需進一步探討分析。

二. 碳中和之綠化策略之可行性與效益分析

本研究綠化效益認知評估的部分，以國小教師做為問卷對象，問卷調查結果分析如下：

(一) 碳中和之綠化策略之可行性

教師對校園圍牆的功能重要性認知分析結果顯示，在五個圍牆基本功能中，教師認為最重要的是安全性與維管性，相對較不重視生態性、美質與教育性，但得分仍在4分以上(表14)。在各種圍牆綠化手法當中以『低矮元素+複層植栽』的圍牆型式(表16-C)之可行性平均總分最高(表15)，其在生態性、教育性與美質方面都有很高的評價；若以原有水泥牆面加垂直綠化也被認知有極高的生態性與美質(表16-A)，而原牆面以藤蔓植物綠化的方式被認為是安全性最低，維管性也最差的處理 (表15、 16)，由問卷受測者輔助型的訪談得知，因為薜荔攀爬的牆

面，使用者認為該種植物容易腐蝕穿透牆面而影響牆體壽命，並且因為有許多孔隙度容易有蟲躲藏其中，因在安全性有疑慮，故其評值最低。屋頂綠化方面各種植物使用方式可行性皆相近，而其教育、美質與生態性為最高，安全性評值低，藤蔓植物攀爬建物牆面，如同圍牆使用藤蔓植物攀爬其安全性最低，使用支架盆栽之建築物牆面有高的美質、教育性與生態性(表15、 16)。

(二) 綠化策略之生態效益分析

本研究提出三種校園綠化策略包括校園圍牆綠化、屋頂綠化與建物垂直面綠化，其中可以發現，詳表15，屋頂花園最具生態性，其次為校園圍牆綠化，於各類屋頂綠化的手法中發現，傳統的屋頂(或露臺)花園植喬灌木與草花類(表16-D)被認為最具有生態性，另外圍牆若植複層植栽(如表16-C)，也可見到有良好的生態性。

(三) 綠化策略之美質效益分析

本研究假設所有綠化皆有適切之維護管理，能展現景觀綠化效果，由表15結果可以發現不管是校園圍牆或是建物外牆垂直綠化，皆以導入支架或盆缽與植物的垂直面綠化形式(表16-A,I)，被認為最具有美質，但在安全上有疑慮，而若以藤蔓植物類攀爬壁面則可以發現其美質最差(表16-B F)。各種屋頂(或露臺)綠化的各種綠化方式(表16-CDE)皆有良好的美質。

(四) 綠化策略之教育性效益分析

各種綠化策略的教育性以屋頂露臺綠化有最高之教育性，推測其可能的原因為當屋頂露臺若未施行綠化，則為生硬無生氣的人工地盤景觀，當其綠化之後就展現了相當的教育性與美質(表15)。

陸. 結論與建議

本研究以零碳校園為營造目標，以碳中和的觀點，探討校園的碳足跡與校園植被固定二氧化碳量於學校營運期間是否可以達到碳中和的情形，即達成淨零碳排(碳中和)校園的目標，研究結果顯示，80年代以後可能因為永續發展趨勢逐漸受到重視，促使校園規劃時更著重綠化，80年代以後成立的學校其二氧化碳固定量高於80年以前成立之學校；台中市的國小每平方公尺校地的二氧化碳固定量為5.21kg，低於台中縣國小的7.71 kg/m^2。永續校園計畫的學校其單位面積二氧化碳固定量(7.0 kg/m^2)則高於未受補助但執行綠色校理念的學校(4.6 kg/m^2)，由此推論永續校園計畫補助學校可能因為有經費補助改善校園綠化環境，故有較高的單位面積二氧化碳固定量，且執行永續校園計畫的學校8所就有6所達成碳中和，換句話說也就是學校經營管理的過程中，達成「淨零碳排」的目標。這亦顯示永續校園推廣的策略中可以增加綠化的二氧化碳固定量，達到低碳學校的目

標。由於綠色學校多座落於台中市區，平均單位面積碳固定量也低於台中縣的學校，是否和學校總人數、校地面積、校舍面積與校區分區使用方式有關值得深入探討。

相較台中縣與台中市學校碳足跡可以發現，台中縣國小每人的碳足跡(253.0 kg/人)大於台中市的學生每人的碳足跡(142.4 kg/人)，但若以每平方公尺校地的二氧化碳排放量來看，台中縣的國小每單位校地面積之二氧化碳排放量遠小於台中市的學校。顯示未來學校或教育主管當局可以在不影響學童的學習下，將學校班級空間配置及班級人數適度的調整，應可以減少學校使用能源的狀況，並且有助於達成減少碳排的目標。

將未達成碳中和目標的學校，導入屋頂、建築物立面與校園圍牆等綠化策略發現，約有五分之一的學校可以因此由碳排高於碳固定的狀況，轉為碳中和的情形。同樣的結果亦可見於導入灌木及草花的屋頂綠化策略中。在各種圍牆綠化手法當中以『低矮元素+複層植栽』的圍牆型式之可行性平均總分最高，其在生態性、教育性與美質方面都有很高的評價；若以原有水泥牆面施以垂直綠化方式，也被認知有極高的生態性與美質，而原牆面以藤蔓植物綠化，則被認為是安全性最低，維管性也最差的處理。由教師們對於圍牆綠化考量之因子中以安全性與維管性最為重要，則可解釋，藤蔓植物用於建物牆面與圍牆綠化可行性最差。學校教師認為各種綠化策略的導入效益分析結果顯示，屋頂露臺綠化有最高之生態性、美質與教育性；圍牆若植複層植栽也可見到有良好的生態性。屋頂露臺綠化有最高之教育性與美質。故建議未來學校可以嘗試採以薄層式屋頂綠化種植草花與景天科植物的綠化方式，圍牆部分則可以採取複層植栽的形式，使有較好的維管性與安全性，另外生態、美質與教育方面的效益也可期。建築物立面垂直綠化部分則以外加支架與種植草花、小灌木的建物牆面綠化被受測者認為有最好的維管性與安全性；然由作者本人對於建築物外牆的花牆綠化的手法認知，其維管所費不貲，且安全性亦有疑慮，此種綠化方式雖然似可以增加建物的二氧化碳固定量，但若將維管之能量使用納入計算，是否為永續的操作方式，仍待後續研究進一步的分析探討。

參考文獻

（一）中文文獻

工業技術研究院，2006，我國能源供需與規劃研究，經濟部能源科技研究發展技術報告

中華民國建築師公會，2009，綠建築設計技術規範，內政部營建署。

江哲銘、2003，教育部永續校園推行緣起、目標與內涵。國立高級中等學校營造永續發展的校園研習會研習手冊（頁 3-25）。教育部中部辦公室，台中。

江哲銘、2004，永續建築導論。建築情報雜誌社。

江哲銘，2006，永續校園的規劃之基本原則。p16-21，永續校園營造指南(蘇慧貞編輯)，教育部。

江哲銘、蘇慧貞、2004，教育部永續校園理念與實質推行。

林憲德，2009，綠化量指標。綠建築解說與評估手冊，內政部建研所，台北。

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 35 屆碩士論文，P.87。

李振卿，2005，綠營建建構永續校園之研究，P. 10~14。

林憲德，2007，綠建築解說與評估手冊，內政部建築研究所。

翁林欣慧，2006，節能技術發展對二氧化碳排放減量之評估 國立成功大學資源工程學系碩士論文

孫志鴻，1999，永續發展研究，環境教育季刊，37 期，P. 75~81。

陳木城、林愛玲，2005，三峽「326 永續校園聯盟」的構想與課程，北縣教育 54 期，69-77。

陳世賢，2009，遊客個人碳足跡與低碳旅遊行為意向之研究-以坪林鄉為例，逢甲大學景觀與遊憩碩士學位學程碩士論文，P.107

陳星皓，2007，台灣國民小學永續校園實質環境評估之研究，國立成功大學建築研究所博士論文。

教育部，2007，永續校園營造指南手冊。

張顯通，1997，綠化設計對 CO2 氣體固定效果之研究，國立成功大學建築研究所第二十八屆碩士論文，P.106。

鄭正勇，2006，落葉與廚餘堆肥。P72-74，永續校園營造指南(蘇慧貞編輯)，教育部。

蔡厚男，2006，複層生態綠化。p65-68，永續校園營造指南(蘇慧貞編輯)，教育部。

歐聖榮 蘇瑋佳 2001 以立面綠化設計改善都市商業街道視覺品質之模式研究，興大園藝 26(1) :43-56

蘇慧貞(編)，2006，永續校園營造指南，教育部。

（二）英文文獻

Akbari, H. 2002. “Shade trees reduce building energy use and CO2 emissions from power plants.” *Environmental Pollution* **116**; S119-S126.

Akbari, H., M. Pomerantz and H. Taha. 2001. “Cool Surfaces and Shade Trees to Reduce Energy Use and Improve Air Quality in Urban Areas,” *Solar Energy* **70**(3), 295–310.

Jo, H.-K. and E. G. McPherson, 2001, Indirect carbon reduction by residential vegetation and planting strategies in Chicago, USA, *Journal of Environmental Management*, 61, 165–177。

Jo, H.-K. 2002. Impacts of urban green space on offsetting carbon emissions for middle Korea, *Journal of Environmental Management*, 64, 115–126。

Johansson, B., M. Ahman. 2002. A comparison of technologies for carbon-neutral passenger transport, Transportation Research, Part D7, 175–196。

McPherson, E. G., D. J. Nowak and R. A. Rowntree. 1994. Chicago’s urban forest ecosystem: Results of the Chicago urbanforest climate project. USDA Forest Service. General Technical Report NE-186.

Melby, P. and T. Cathcart. 2002. Regenerative design techniques : practical applications in landscape design. New York : Wiley

Padgett, J. P., A. C. Steinemann, J. H. Clarke, M. P. Vandenbergh. 2008. A comparison of carbon calculators. Environmental Impact Assessment Review 28 (2), 106-115.

Rowntree, R. A.; Nowak, D.J. 1991. Quantifying the role of urban forests in removing atmospheric carbon dioxide. Journal of Arboriculture. 17(10): 269-275.

Tolley, R. 1996. Green Campuses: Cutting The Environmental Cost of Commuting. Journal of Transport Geography, Vol 4(3), 213-217.

Wiedmann, T. and Minx, J. 2008. A Definition of 'Carbon Footprint'. In: C. C. Pertsova, Ecological Economics Research Trends: Chapter 1, pp. 1-11, Nova Science Publishers, Hauppauge NY, USA.

（三）網路資訊

台灣綜合研究院 2010 聯合國氣候變化框架公約 京都議定書. [www.tri.org.tw/unfccc/download/kp_c.pdf]

香港文匯報 2009. 哥本哈根協議內容. [http://trans.wenweipo.com/gb/paper.wenweipo.com/2009/12/20/GJ09122000003.htm]

郭博堯 2001. 背景分析－京都議定書的爭議與妥協 財團法人國家政策研究基

金會 永續(研)090-024 號
[http://old.npf.org.tw/PUBLICATION/SD/090/SD-R-090-024.htm]
Global footprint network. 2010. Carbon footprint.
[http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/carbon_footprint/]
Oxford University Press. 2006. Carbon Neutral: Oxford Word of the Year.
[http://blog.oup.com/2006/11/carbon_neutral_/]

表 1 我國各種生活家用與化石燃料使用釋碳量一覽表

項目	單位	二氧化碳排放量
電	1 度	0.638 公斤
水	1 度	0.195 公斤
汽油	1 公升	2.24 公斤
瓦斯	1 度	1.045 公斤

資料來源：本研究彙整

表 2 各種植栽單位面積二氧化碳固定量 Gi (kg/m^2)(40 年 CO_2 固定量)說明表

栽植類型		CO2 固定量 Gi(kg/m^2)	覆土深度
生態複層	大小喬木、灌木、花草密植混種區 (喬木間距 3.0m 以下)	1,200	1.0m 以上
喬木	闊葉大喬木	900	
	闊葉小喬木、針葉喬木、疏葉喬木	600	
	棕櫚類	400	
灌木(每 m^2 至少栽植 4 株以上)		300	0.5m 以上
多年生蔓藤		100	
草花花圃、自然野草地、水生植物、草坪		20	0.3m 以上

(內政部建研所,2006)

表 3 不同成立時間之學校二氧化碳固定量分析表

	學校名稱	40 年 CO_2 固定量 (kg)	每年 CO_2 固定量 (kg)	單位面積校地 CO_2 固定量 (kg)
80 年以前成立學校	**忠孝國小**	5361930	134048	3.9
	西屯國小	7877285	196932	5.8
	鹿峰國小	10271888	256797	4.1
	國光國小	5870154	146754	4.1
	忠信國小	2562947	64074	4.3
	健行國小	7034383	175860	5.8
	僑孝國小	4822764	120569	8.2
	鎮平國小	4120593	103015	5.0
	進德國小	9021394	225535	5.7
	文昌國小	2906330	72658	3.6
	平均值	5984967	149624	5.0
80 年以後成立學校	**吉峰國小**	19827329	495683	9.8
	惠文國小	7950038	198751	4.5
	山陽國小	3886589	97165	7.0
	車籠埔國小	6252254	156306	10.0
	上安國小	4180104	104503	6.6
	長安國小	3441946	86049	5.1
	平均值	7589710	189743	7.2

表 4 不同行政區位之學校二氧化碳固定量分析表

	學校名稱	40 年 CO_2 固定量 (kg)	每年 CO_2 固定量 (kg)	單位面積校地 CO_2 固定量 (kg)
台中市學校	**忠孝國小**	5361930	134048	3.88
	西屯國小	7877285	196932	5.76
	惠文國小	7950038	198751	4.54
	國光國小	5870154	146754	4.08
	忠信國小	2562947	64074	4.27
	健行國小	7034383	175860	5.82
	僑孝國小	4822764	120569	8.22
	上安國小	4180104	104503	6.56
	進德國小	9021394	225535	5.67
	文昌國小	2906330	72658	3.64
	長安國小	3441946	86049	5.12
	鎮平國小	4120593	103015	4.98
	平均值	5429156	135729	5.21
	山陽國小	3886589	97165	6.98
	車籠埔國小	6252254	156306	9.96
	鹿峰國小	10271888	256797	4.06
	吉峰國小	19827329	495683	9.84
	平均值	10059515	251488	7.71

表 5 執行綠色學校理念與永續校園計畫學校二氧化碳固定量分析表

	學校名稱	40 年 CO_2 固定量 (kg)	每年 CO_2 固定量 (kg)	單位面積校地 CO_2 固定量 (kg)
綠色學校	**忠孝國小**	5361930	134048	3.9
	西屯國小	7877285	196932	5.8
	文昌國小	2906330	72658	3.6
	國光國小	5870154	146754	4.1
	忠信國小	2562947	64074	4.3
	健行國小	7034383	175860	5.8
	惠文國小	7950038	198751	4.5
	長安國小	3441946	86049	5.1
	平均值	5375627	134391	4.6
永續校園	**進德國小**	9021394	225535	5.7
	吉峰國小	19827329	495683	9.8
	山陽國小	3886589	97165	7.0
	車籠埔國小	6252254	156306	10.0
	上安國小	4180104	104503	6.6
	鹿峰國小	10271888	256797	4.1
	僑孝國小	4822764	120569	8.2
	鎮平國小	4120593	103015	5.0
	平均值	7797864	194947	7.0

表 6 不同成立時間之學校二氧化碳排放量分析表

	學校名稱	面積 (M^2)	師生數 (人)	用電 CO_2 排放量 (kg)	用水 CO_2 排放量 (kg)	CO_2 排放總量 (kg)	單位面積校地 CO_2 排放量 (kg)	每人 CO_2 排放量 (kg)
80 年以前成立學校	**忠孝國小**	34591	3171	589814	23187	379643	11.0	119.7
	西屯國小	34196	1802	455720	17321	293216	8.6	162.7
	鹿峰國小	63257	610	156720	1854	100036	1.6	164.0
	國光國小	35940	1167	391480	14601	251829	7.0	215.8
	忠信國小	15000	697	220320	21804	144375	9.6	207.1
	健行國小	30206	984	131275	3495	84172	2.8	85.5
	僑孝國小	14665	1115	75146	14412	50603	3.5	45.4
	鎮平國小	20705	960	243240	5972	155865	7.5	162.4
	進德國小	39775	601	212900	7800	136925	3.4	227.8
	文昌國小	19985	1296	215800	9430	139088	7.0	107.3
	平均值	30832	1240	269242	11988	173575	6.2	149.8
80 年以後成立學校	**吉峰國小**	50365	612	169600	3423	108533	2.2	177.3
	惠文國小	43755	3526	565280	31677	365695	8.4	103.7
	山陽國小	13927	219	145892	19954	96678	6.9	441.5
	車籠埔國小	15696	*547*	195200	6577	125430	8.0	229.3
	上安國小	15941	1420	333600	9202	213964	13.4	150.7
	長安國小	16811	739	135520	15512	89216	5.3	120.7
	平均值	26083	1177	257515	14391	166586	7.4	203.9

表 7 不同行政區位之學校二氧化碳排放量分析表

	學校名稱	面積 (M^2)	師生數 (人)	用電 CO_2 排放量 (kg)	用水 CO_2 排放量 (kg)	CO_2 排放總量 (kg)	單位面積校地 CO_2 排放量 (kg)	每人 CO_2 排放量 (kg)
台中市學校	**忠孝國小**	34591	3171	589814	23187	379643	11.0	119.7
	西屯國小	34196	1802	455720	17321	293216	8.6	162.7
	國光國小	35940	1167	391480	14601	251829	7.0	215.8
	忠信國小	15000	697	220320	21804	144375	9.6	207.1
	健行國小	30206	984	131275	3495	84172	2.8	85.5
	僑孝國小	14665	1115	75146	14412	50603	3.5	45.4
	進德國小	39775	601	212900	7800	136925	3.4	227.8
	文昌國小	19985	1296	215800	9430	139088	7.0	107.3
	惠文國小	43755	3526	565280	31677	365695	8.4	103.7
	上安國小	15941	1420	333600	9202	213964	13.4	150.7
	長安國小	16811	739	135520	15512	89216	5.3	120.7
	鎮平國小	20705	960	243240	5972	155865	7.5	162.4
	平均值	26798	1457	297508	14534	192049	7.3	142.4
台中縣學校	**吉峰國小**	50365	612	169600	3423	108533	2.2	177.3
	山陽國小	13927	219	145892	19954	96678	6.9	441.5
	車籠埔國小	15696	547	195200	6577	125430	8.0	229.3
	鹿峰國小	63257	610	156720	1854	100036	1.6	164.0
	平均值	35811	497	166853	7952	107669	4.7	253.0

表 8 執行綠色學校理念與永續校園計畫學校二氧化碳排放量分析表

	學校名稱	面積 (M^2)	師生數 (人)	用電 CO_2 排放量(kg)	用水 CO_2 排放量(kg)	CO_2 排放總量 (kg)	單位面積校地 CO_2 排放量 (kg)	每人 CO_2 排放量 (kg)
綠色校園	**忠孝國小**	34591	3171	589814	23187	379643	11.0	119.7
	西屯國小	34196	1802	455720	17321	293216	8.6	162.7
	文昌國小	19985	1296	215800	9430	139088	7.0	107.3
	國光國小	35940	1167	391480	14601	251829	7.0	215.8
	忠信國小	15000	697	220320	21804	144375	9.6	207.1
	健行國小	30206	984	131275	3495	84172	2.8	85.5
	惠文國小	43755	3526	565280	31677	365695	8.4	103.7
	長安國小	16811	739	135520	15512	89216	5.3	120.7
	平均值	28811	1673	338151	17128	218404	7.4	140.3
永續校園	**進德國小**	39775	601	212900	7800	136925	3.4	227.8
	吉峰國小	50365	612	169600	3423	108533	2.2	177.3
	山陽國小	13927	219	145892	19954	96678	6.9	441.5
	車籠埔國小	15696	547	195200	6577	125430	8.0	229.3
	上安國小	15941	1420	333600	9202	213964	13.4	150.7
	鹿峰國小	63257	610	156720	1854	100036	1.6	164.0
	僑孝國小	14665	1115	75146	14412	50603	3.5	45.4
	鎮平國小	20705	960	243240	5972	155865	7.5	162.4
	平均值	29291	761	191537	8649	123504	5.8	199.8

表 9 不同成立時間之學校碳中和情形分析表

	學校名稱	校地面積 (m^2)	每年 CO_2 排放量 (Kg) A	每年 CO_2 固定量 (kg) B	碳中和情形 (B-A)	碳中和比例 (%) (學校數比例)
80 年以前成立學校	**忠孝國小**	34591	379643	134048	-245595(A>B)	-64.7
	西屯國小	34196	293216	196932	-96283(A>B)	-32.8
	鹿峰國小	63257	100036	72658	156761(B>A)	156.7
	國光國小	35940	251829	146754	-105075(A>B)	-41.7
	忠信國小	15000	144375	64074	-80302(A>B)	-55.6
	健行國小	30206	84172	175860	91687(B>A)	108.9
	僑孝國小	14665	50603	198751	69966(B>A)	138.3
	鎮平國小	20705	155865	86049	-52850(A>B)	-33.9
	進德國小	39775	136925	134391	88610(B>A)	64.7
	文昌國小	19985	139088	225535	-66429(A>B)	-47.8
	平均值	30832	173575	495683	-23951(A>B)	19.2(4/10)
80 年以後成立學校	**吉峰國小**	50365	108533	97165	387150(B>A)	356.7
	惠文國小	43755	365695	156306	-166944(A>B)	-45.7
	山陽國小	13927	96678	104503	486(B>A)	0.5
	車籠埔國小	15696	125430	256797	30877(B>A)	24.6
	上安國小	15941	213964	120569	-109461(A>B)	-51.2
	長安國小	16811	89216	103015	-3167(A>B)	-3.5
	平均值	26083	166586	194947	23157(B>A)	46.9(3/6)

表 10 不同行政區位之學校碳中和情形分析表

	學校名稱	校地面積 (m^2)	每年 CO_2 排放量 (Kg) A	每年 CO_2 固定量 (kg) B	碳中和情形 (B-A) (kg)	碳中和比例 (%) (學校數比例)
台中市學校	**忠孝國小**	34591	379643	134048	-245595(A>B)	-64.7
	西屯國小	34196	293216	196932	-96283(A>B)	-32.8
	惠文國小	43755	365695	198751	-166944(A>B)	-45.7
	國光國小	35940	251829	146754	-105075(A>B)	-41.7
	忠信國小	15000	144375	64074	-80302(A>B)	-55.6
	健行國小	30206	84172	175860	91687(B>A)	108.9
	僑孝國小	14665	50603	120569	69966(B>A)	138.3
	上安國小	15941	213964	104503	-109461(A>B)	-51.2
	進德國小	39775	136925	225535	88610(B>A)	64.7
	文昌國小	19985	139088	72658	-66429(A>B)	-47.8
	長安國小	16811	89216	86049	-3167(A>B)	-3.5
	鎮平國小	20705	155865	103015	-52850(A>B)	-33.9
	平均值	26798	192049	135729	-56320(A>B)	-5.4(3/12)
台中縣學校	**山陽國小**	13927	96678	97165	486(B>A)	0.5
	車籠埔國小	15696	125430	156306	30877(B>A)	24.6
	鹿峰國小	63257	100036	256797	156762(B>A)	156.7
	吉峰國小	50365	108533	495683	387150(B>A)	356.7
	平均值	35811	107669	251488	143819(B>A)	134.6(4/4)

表 11 執行綠色學校理念與永續校園計畫學校碳中和情形分析表

	學校名稱	校地面積 (m^2)	每年 CO_2 排放量 (Kg) A	每年 CO_2 固定量 (kg) B	碳中和情形 (B-A) (kg)	碳中和比例 (%) (學校數比例)
綠色學校	**忠孝國小**	34591	379643	134048	-245595(A>B)	-64.7
	西屯國小	34196	293216	196932	-96283(A>B)	-32.8
	文昌國小	19985	139088	72658	-66429(A>B)	-47.8
	國光國小	35940	251829	146754	-105075(A>B)	-41.7
	忠信國小	15000	144375	64074	-80302(A>B)	-55.6
	健行國小	30206	84172	175860	91687(B>A)	108.9
	惠文國小	43755	365695	198751	-166944(A>B)	-45.7
	長安國小	16811	89216	86049	-3167(A>B)	-3.5
	平均值	28811	218404	134391	-84014(B>A)	-22.9(1/8)
永續學校	**進德國小**	39775	136925	225535	88609(B>A)	64.7
	吉峰國小	50365	108533	495683	387150(B>A)	356.7
	山陽國小	13927	96678	97165	486(B>A)	0.5
	車籠埔國小	15696	125430	156306	30877(B>A)	24.6
	上安國小	15941	213964	104503	-109461(A>B)	-51.2
	鹿峰國小	63257	100036	256797	156762(B>A)	156.7
	僑孝國小	14665	50603	120569	69966(B>A)	138.3
	鎮平國小	20705	155865	103015	-52850(A>B)	-33.9
	平均值	29291	123504	194947	71442(B>A)	82.1(6/8)

表 12 校園綠化策略採屋頂花園種植「灌木」、壁面種植藤蔓(草花)與圍牆複層植栽的碳中和情形分析

學校名稱	學校碳中和比例 (%)	屋頂花園綠化策略灌木固碳量 (kg)	建物立面藤蔓/草花植物固碳量 (kg)	圍牆生態複層 (kg)	全部固碳量 (kg)	綠化策略碳中和量灌木 (kg)	綠化策略碳中和情形灌木 (%)
忠孝國小	-64.7	324000	1740000	792000	71940	-173655	-45.7
西屯國小	-32.8	445350	1161200	523200	53986	-42297	-14.4
鹿峰國小	156.7	36000	1740000	892800	66780	223542	223.5
國光國小	-41.7	150000	1740000	534000	60850	-44225	-17.6
忠信國小	-55.6	597600	6380000	534000	188786	108484	75.1
健行國小	108.9	693600	5100000	782400	165556	257243	305.6
僑孝國小	138.3	181200	1320000	138000	41282	111248	219.8
鎮平國小	-33.9	262200	2200000	852000	83292	30442	19.5
進德國小	64.7	253200	6670000	638400	189462	278071	203.1
文昌國小	-47.8	644400	0	816000	37584	-28845	-20.7
吉峰國小	356.7	540000	0	652800	30720	417870	385.0
惠文國小	-45.7	396900	0	408000	20784	-146160	-40.0
山陽國小	0.5	0	0	216000	5400	5886	6.1
車籠埔國小	24.6	0	0	408000	10200	41077	32.7
上安國小	-51.2	251400	2600000	498000	84154	-25307	-11.8
長安國小	-3.5	0	0	628800	15720	12553	14.1

表 13 校園綠化策略採屋頂花園種植「草花」、壁面種植藤蔓(草花)與圍牆複層植栽的碳中和情形分析

學校名稱	學校碳中和比例 (%)	屋頂花園綠化策略草花固碳量 (kg)	建物立面藤蔓/草花植物固碳量 (kg)	圍牆生態複層 (kg)	全部固碳量 (kg)	綠化策略碳中和量草花 (kg)	綠化策略碳中和情形 (%)
忠孝國小	-64.7	21600	1740000	792000	71940	-181755	-47.9
西屯國小	-32.8	29690	1161200	523200	53986	-53431	-18.2
鹿峰國小	156.7	2400	1740000	892800	66780	222642	222.6
國光國小	-41.7	10000	1740000	534000	60850	-47975	-19.1
忠信國小	-55.6	39840	6380000	534000	188786	93544	64.8
健行國小	108.9	46240	5100000	782400	165556	239903	285.0
僑孝國小	138.3	12080	1320000	138000	41282	106718	210.9
鎮平國小	-33.9	17480	2200000	852000	83292	23887	15.3
進德國小	64.7	16880	6670000	638400	189462	271741	198.5
文昌國小	-47.8	42960	0	816000	37584	-44955	-32.3
吉峰國小	356.7	36000	0	652800	30720	404370	372.6
惠文國小	-45.7	26460	0	408000	20784	-156083	-42.7
山陽國小	0.5	0	0	216000	5400	5886	6.1
車籠埔國小	24.6	0	0	408000	10200	41077	32.7
上安國小	-51.2	16760	2600000	498000	84154	-31592	-14.8
長安國小	-3.5	0	0	628800	15720	12553	14.1

表14　校園圍牆的功能重要性認知分析表-國小教師問卷

圍牆功能的重要性	平均數	圍牆功能的重要性	平均數
生態性	4.02	安全性	4.76
景觀美質	4.29	維管性	4.56
教育性	4.00		

表 15 各種綠化策略之各項評估項目認知與可行性分析

	照片	生態性 mean	美質性 mean	教育性 mean	安全性 mean	維管性 mean	可行性 mean
校園圍牆	「舊有水泥牆+垂直綠化」的圍牆型式	4.36	4.48	4.27	2.78	3.74	3.9
	「植栽+鐵絲網」的圍牆型式	4.03	3. 80	3.69	3.09	3.42	3.6
	「低矮元素+複層植栽」的圍牆型式	4.27	4.27	4.08	3.73	3.93	4.1
	「原牆面以爬藤植物綠化」的圍牆型式	3.96	3.77	3.51	2.72	3.09	3.4
屋頂綠化	植「草類」之薄層式屋頂綠化	4.28	4.22	4.25	3.30	3. 82	4.0
	植「喬灌木、草花類」之傳統屋頂綠化	4.42	4.37	4.38	3.18	3.84	4.0
	植「蔬果、花卉類」綠化校園屋頂	4.23	4.01	4.32	3.14	3.65	3.9
建物垂直面綠化	以「藤蔓植物攀爬」綠化校園建物牆面	3.94	3.79	3.85	3.14	4.00	3.7
	以「支架+植栽」綠化校園建物牆面	4.20	4.28	4.13	3.21	4.13	4.0

表 16 校園各種綠化策略之示意圖

A『舊有水泥牆+垂直綠化』的圍牆型式	B『植栽+鐵絲網』的圍牆型式
C『低矮元素+複層植栽』的圍牆型式	D『原牆面以爬藤植物綠化』的圍牆型式
E 植「草類」之薄層式屋頂綠化	F 植「喬灌木、草花類」之傳統屋頂綠化
G 植「蔬果、花卉類」綠化校園屋頂	H 以「藤蔓植物攀爬」綠化校園建物牆面
I 以「支架+植栽」綠化校園建物牆面	

無衍生研發成果推廣資料

98 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：張莉欣	計畫編號：98-2410-H-035-041-SSS
計畫名稱：植物應用於零碳校園營造之策略與效益分析	

成果項目			量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）
			實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數(含實際已達成數)	本計畫實際貢獻百分比		
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（本國籍）	碩士生	4	4	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%	章/本	
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（外國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)	無

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科教處計畫加填項目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與（閱聽）人數	0	

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

■達成目標

□未達成目標（請說明，以 100 字為限）

□實驗失敗

□因故實驗中斷

□其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文：□已發表 □未發表之文稿 ■撰寫中 □無

專利：□已獲得 □申請中 ■無

技轉：□已技轉 □洽談中 ■無

其他：(以 100 字為限)

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）(以 500 字為限)

1. 本研究探討台中縣市國民小學學校碳足跡、植物二氧化碳固定與碳中和達成情形，結果可以提供教育當局參考，即如何以綠化策略減低碳排並達到營運淨零碳排(即碳中和)的目標。

2. 本研究發現，地處都市化較低的農村地帶之國小，每位師生的碳足跡較都市化高的都會地區大，但單位校地面積的二氧化碳排放量較台中市低。建議教育當局可以針對師生人數較少的農村型小學，將上課教室位置集中化與適度調整班級人數，將可以降低碳足跡。

3. 導入校園綠化策略可以幫助國小達成碳中和的目標，有二種綠化策略被國小教師認為相對可行，即屋頂綠化(傳統屋頂花園、屋頂農園與薄層式屋頂花園)及現有的圍牆以複層植栽的方式予以綠化，此些綠化方式比其他綠化方式被認為有較佳的生態、美質與教育價值。

4. 永續校園計畫的學校，其學校單位面積二氧化碳固定量高於執行綠色校理念的學校，表示教育部永續校園計畫補助項目確實產生具體效果，但執行永續校園計畫的學校師生之碳足跡未較小，仍值得進一步的討論。