

「2023 中華民國營建工程學會第二十一屆營建產業永續發展研討會」

## 不同地表面土地利用的碳排放

鄧曉鋒(Hiu-Fung Tang)

國立臺北科技大學 土木工程系 學生

黎逸朗(Tyrone-Lai)

國立臺北科技大學 土木工程系 學生

吳誼軒(Yixuan Wu)

國立臺北科技大學 土木工程系 學生

陳起鳳(Qi-Feng Chen)

國立臺北科技大學 土木工程系 副教授

### 摘要

因應聯合國2050淨零排放目標，台灣也宣示2050年要達到「淨零排放」，但只靠政策，要達到目標很不容易，當中淨零排放不是不排放，而是讓人為造成的溫室氣體排放極小化，再用負碳技術、森林碳匯等方法抵消。因此本研究從「花園」為出發點，利用CO<sub>2</sub>濃度探測計，探測在地表面不同土地利用的碳排放能力。本次探討會以石磚人行道、花園、草地做比較，比較出三者的碳排放，藉此推論出花園的碳排放能力，能否有較高的碳儲存能力以及有做與沒有做的碳排放情況。實際實驗數據為石磚人行道>花園>草地，但經過綜合文獻與實驗結果來推測，碳排放由大到小應為石磚人行道>草地≥花園。本研究初步成果僅作為評估有做與沒做花園所產生的碳排放情況。後續再提出相關改善建議，像是提供增加碳匯或減少碳排放的做法。

**關鍵詞：**土壤碳儲存、土壤健康、光合作用、碳排放、碳匯

## Carbon emissions on different soil surfaces

### Abstract

In response to the United Nations' 2050 net-zero emissions goal, Taiwan has also declared its intention to achieve "net-zero emissions" by 2050. However, achieving this goal solely through policy measures is a challenging task. Net-zero emissions do not mean zero emissions; rather, it involves minimizing human-caused greenhouse gas emissions and offsetting them through negative carbon technologies and forest carbon sinks, among other methods.

Therefore, this study begins with the premise of the "garden" and employs CO<sub>2</sub> concentration sensors to investigate the carbon emission capacity of different land uses on the Earth's surface. The study compares brick walkways, gardens, and grasslands to assess their carbon emissions, aiming to infer the carbon emission capacity of gardens and whether they have a higher potential for carbon storage or exhibit different emission scenarios with or without gardens.

The actual experimental data indicates that carbon emissions rank as follows: sidewalks> gardens > grasslands. However, based on a comprehensive review of literature and experimental results, it is inferred that the carbon emissions should be ordered as follows: sidewalks > grasslands  $\geq$  gardens. The preliminary findings of this study serve only as an assessment of the carbon emissions produced due to the difference of the gardens. Subsequent recommendations will be made to improve the situation based on the observed results, such as suggesting practices that increase carbon sinks or reduce carbon emissions.

**Keywords:** Soil carbon storage, soil health, photosynthesis, carbon emissions, carbon sinks.

## 一、前言

工業革命後，石化燃料作為主要能源，令溫室氣體濃度迅速上升，影響了地球的碳循環，導致氣候變遷與極端氣候的問題。其中，聯合國早在上個世紀就注意到，減少碳排放是未來的重要發展目標，並在1992年訂定《聯合國氣候變遷綱要公約》，呼籲全球各國要「穩定維持大氣中的溫室氣體濃度，使溫室氣體不會危害氣候系統，並讓生態系統可自然適應氣候變化，同時確保糧食生產與經濟發展可持續進行」。因此，我們決定研究地表面不同土地利用的碳排放，其中以雨水花園中的「花園」作為出發點，是因為雨水花園就是花園的升級版，只是增加了水文特性，而本研究不會探討水文的部份，只探討花園碳排放。

本研究主要探討花園的碳排放形式或特性，同時探討是否比草地更能減碳、改善環境，以及評估有做花園以及沒有做花園的碳排放情況。透過探測和比較花園、草地及石磚人行道的碳排放，以量化數據和趨勢圖為基礎，呈現不同差異，從而來理解花園中的碳排放形式及其優缺點能否做到改善環境減少碳排放。並從其中檢討可改善之方向、替代方案以及建議，使碳排放量以及環境衝擊得以降低。此外，本研究僅單純以大概的數據趨勢來做比較，同時只會看場地使用時的數據，不討論整個建築生命週期的碳排放以及精確的數值。

## 二、研究方法

### 2.1 研究案例

本研究採用一般常見石磚人行道、草地和花園三個場地，以透明的箱子做一個有範圍的空間，來模擬一個小型地球，呈現出各種不同場地中的碳排放模式，並進行更深入的探討，來檢視其碳排放對整個環境之影響。案例圖示以及尺寸如下圖1及表1。另外，本研究不考慮環境的植被覆蓋率以及品種，只單單以現場選取的环境本身條件做比較。



圖1 案例場地圖(石磚人行道、草地、花園)

Case site map (stone brick sidewalks, general gardens, ecological trails)

表1 透明箱子尺寸(Transparent box size)

項目名稱	尺寸(cm)
長	0.56
寬	0.39
高	0.42

## 2.2 研究方法

本研究欲探討地表面不同土地利用之碳排放，並以花園及草地為主，石磚人行道為輔。雖然碳排放泛指溫室氣體排放，包括水蒸氣、二氧化碳(下面稱CO<sub>2</sub>)、甲烷、氧化亞氮、氟氯碳化物、臭氧等，但由於CO<sub>2</sub>在大氣中佔比最多以及我們的研究儀器只能測出CO<sub>2</sub>濃度，因此本研究僅以CO<sub>2</sub>濃度來做碳排放的衡量標準。

碳排放的評估範圍極廣，可以是該場地的整個生命週期、也可以是1年、1個月、1天等，當中我們選擇以1天的單位來做碳排放的評估範圍。本研究使用的CO<sub>2</sub>濃度計為TES 1370H NDIR CO<sub>2</sub> Meter，該儀器能測出並記錄當前大氣中的CO<sub>2</sub>濃度、濕度和溫度，並且在滿電狀態下能使用12小時。本研究將透過該儀器去量測被透明箱子所覆蓋的不同場地範圍內之CO<sub>2</sub>濃度、濕度和溫度在一天內的變化，並檢視不同場地的碳排放和碳匯能力。進而討論花園的好處與碳儲存能力高低。另外，也透過參考不同的文獻來比對花園與草地兩者之間的碳匯能力差異並提出可增加碳匯能力的方法。

## 三、結果與討論

### 3.1 實驗結果

實驗結果如下圖2與圖3。首先依照圖2可得知三個場地中石磚人行道的CO<sub>2</sub>濃度變化程度最小，這是因為在該場地沒有能增加或減少CO<sub>2</sub>的因素，所

以該場地在本次實驗中作為對照組。接著依照圖2可見花園與草地都有明顯的上升與下降的變化，這是因為在這兩個場地中都有植物覆蓋或存在，其中植物的光合作用會令CO<sub>2</sub>減少，所以兩個場地中的白天時(07:00-19:00) CO<sub>2</sub>濃度有下降及較人行道低，相反在晚上則因呼吸作用令CO<sub>2</sub>濃度上升，雖然晚上CO<sub>2</sub>濃度較人行道高，但當中花園與人行道的數值相近，而根據圖3得知草地的CO<sub>2</sub>濃度數值高是因為箱子令熱無法對流，溫度不斷上升無法下降產生大量水蒸氣，就像汽車車內溫度較外面高的原理，所以實際上晚上CO<sub>2</sub>濃度也與人行道相近。由此可見，只看實驗結果三個場地中碳排放量由大到小排序為石磚人行道>草地=花園。

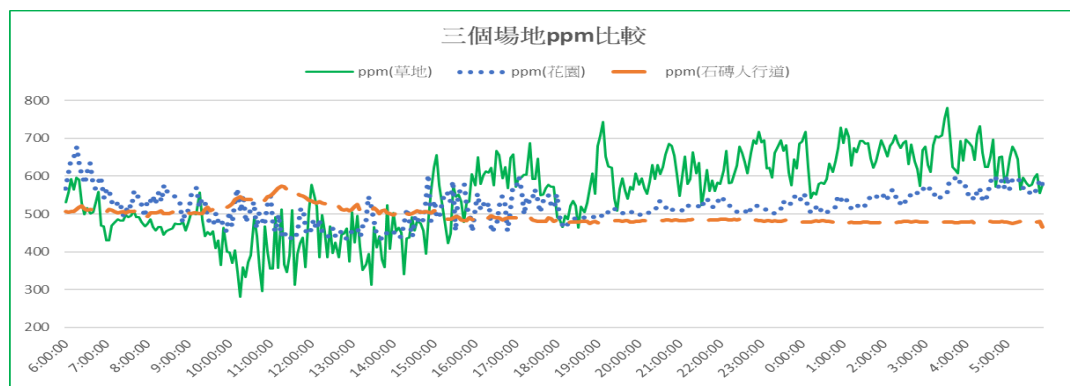


圖2 不同場地CO<sub>2</sub>濃度比較

Comparison of CO<sub>2</sub> concentrations in different sites

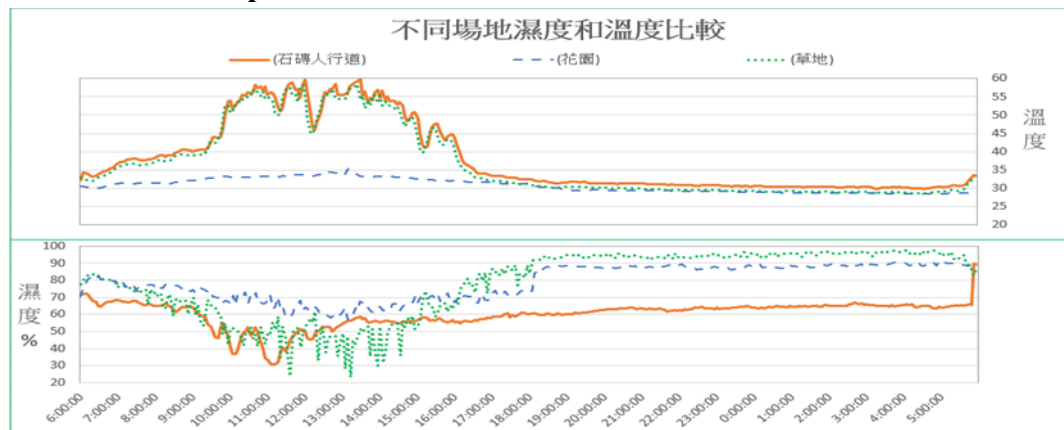


圖3 不同場地濕度和溫度比較

Humidity and temperature comparison of different sites

### 3.2 文獻與綜合結果

首先，透過NET機構組織公開的資料得知增強土壤健康能幫助減輕氣候變化的影響，而通常土壤健康是一個重要但被低估的碳匯。其次，根據根廷和格林的「全球陸地大氣耦合實驗－耦合模型比對計畫」(2019)的研究結果顯示得知net biome productivity(NBP)在土壤濕度沒有變異時是有變異時的兩倍，即土壤濕度短期變異和變乾都會減少碳匯。此外，根據一篇報道得知在土壤

侵蝕的過程中，雖然可以將碳埋藏於土壤中而達到類似碳匯或碳儲存的目的，但這種被埋藏的碳有50%會在500年內重新釋放到大氣中，氣候變化更可能因此加快。最後，雖然總結上述的文獻資訊以及表2得出花園在土壤健康上一定較草地好，且在土壤濕度方面也較草地保濕及較少出現短期變異。

雖然文獻提出三個場地中碳排放由大到小應為：石磚人行道>草地>花園。但由於我們的實驗因為草地那組無法對流導致二氧化碳上升的原因，使實驗結果偏離了預想結果，實驗無法證明文獻中所指出的花園較草地好的優勢，而能證明到的就只有上述所提到的短期變異會令二氧化碳增加這點以及碳排放由大到小為石磚人行道>草地>花園。

**表2 三個場地分析及比較(Analysis and comparison of three venues)**

場地	項目(單位)	平均值	最大值	最小值	差距
花園	濃度 ppm	520.9	495.5	554.7	677.0
	濕度 RH%	79.0	90.9	57.1	33.8
石磚人行道	濃度 ppm	573.0	781.0	432.0	465.0
	濕度 RH%	60.1	89.5	30.7	58.8
草地	濃度 ppm	280.0	245.0	108.0	501.0
	濕度 RH%	78.3	97.7	23.4	74.3

### 3.3 增加碳匯或減少碳排放的建議

碳匯是指植物吸收空氣中的CO<sub>2</sub>行光合作用，其中會把部份CO<sub>2</sub>儲存在體內。首先從圖2便可見，基本上光合作用只出現在日照覆蓋到植物的時段，我們認為增加植物的日照面積和光的照射強度能有效加強光合作用令碳匯增加，因此花園在選址上面要選擇日照率高的地方。

其次，保持土壤的健康，綜合圖2及圖3的數據可得知濕度變化頻率高的時候碳排放也相對較高，因此保持土壤長時間濕潤，不出現短時間的變化，便可增加碳匯及減少碳排放，因此建議加入自動灑水系統保持土壤濕潤以致土壤健康。而這個部分就剛好可以與雨水花園的水文系統做結合，加入自動灑水系統並利用雨水，既不會浪費水資源還可以達到土壤保濕增加碳匯。

最後，不同植被在土壤呼吸強度也有差異，且土壤呼吸強度由弱到強的順序為：大喬木林<小喬木林<灌叢<草地。其中草地土壤呼吸強又沒能遮蔽土壤，容易使土壤發生變異而降低碳匯，而大喬木林雖然土壤呼吸弱，但佔地面積大，對於花園也不合適。所以建議使用小喬木林和灌叢來做花園的植被，減少碳排放。此外，植物需要根據當地的氣候條件進行選擇，讓合適的植物在合適的地方生長，除了讓植物可以更好的光合作用外，還能夠養出更健康的土壤增加土壤的碳匯。

#### 四、結論

總結來說透過實驗與文獻之所得結果推測，碳排放由大到小為石磚人行道>草地≥花園。然而現實中無法把所有地方做成花園，一方面是因為環境因素限制，另一方面在經濟層面上也不實際，雖然無法只建造花園，不過我們透過實驗與文獻得出了花園或類似的場地碳排放較少的原因，我們只需要把這些原因和上述增加碳匯或減少碳排放的建議套用到有植被覆蓋的地方便可達到相近的效果，從而減低碳排放並增加碳匯。最後，我們要達到淨零排放不必主要依靠政策來改變人們的生活方式或碳排放，其實我們在土木方面也能透過對建築或設施加入綠建築元素，便可以達到增加碳匯和降低碳排放的效果，從而令整個台灣或整個世界邁向淨零排放一大步。

#### 五、參考文獻

1. 種業資訊，「研究發現土壤中捕獲的碳會在此釋放大氣中」，種業在線-環球。
2. 環境資訊中心，「森林碳匯是什麼？能永久不變嗎？碳匯如何轉「碳權」、申請管道一次搞懂」，2022
3. 包欣平、葉德銘，「二氧化碳濃度與光強度對三種觀葉植物移除甲醛與光合作用之影響」，碩士論文，臺灣大學，2021。
4. 姚多喜、趙魁、張治國、楊清、安士凱、張文影，「大通煤矸石充填復墾區不同植被類型土壤碳排放」，水土保持通報，安徽理工大學，2013。
5. 帥琪，「雨水花園植物的選擇與種植模式探討」，湖南應用技術學院，2022。
6. Building Automation Products, “The Effects of Temperature and Barometric Pressure on CO<sub>2</sub> Sensors”, Research results, 2012.
7. Clifton-Ross, J., “Rain gardens support the environment by mimicking systems in nature”, National Environmental Treasure, 2021.
8. Green, J. and Gentine, P., “Climate Tipping Point Could Occur Sooner Than We Think”, 2019