

2025 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

□國中組 □普高組 ■技高組 成果報告格式

題目名稱：減碳有感 永續不難

一、摘要

本研究將蚵殼炭、菱角殼炭、椰殼炭、稻殼炭及竹炭等生物炭製成水泥砂漿後，進行 7 天及 28 天齡期之抗壓強度試驗與二氧化碳吸附試驗，結果發現：1.生物炭製成水泥砂漿可有效吸附二氧化碳(生物炭水泥砂漿二氧化碳吸附能力皆較一般水泥砂漿試體佳，且二氧化碳吸附量與取代比例皆成正比)，若作為室內牆面粉刷，可有效提高室內空氣品質，延長換氣時間；2.生物炭水泥砂漿可達到廢棄物再利用、降低水泥所造成之空氣汙染及砂的資源耗竭；3.可提升水泥砂漿的強度品質，其無論早期或晚期強度皆以蚵殼炭取代 10%水泥為最佳，可提升早期強度 31%，晚期強度 23%；4.生物炭水泥砂漿在取代砂的二氧化碳吸附效果較取代水泥好，其中以菱角殼炭取代砂為最佳；5.綜合效益最佳為蚵殼炭取代 10%水泥，其次依序為椰殼炭取代 15%砂、竹炭取代 5%砂，顯示生物炭作為水泥砂漿成分的潛在優勢。

二、探究題目與動機

如果全球的平均溫度持續上升，「人類恐會從地球上消失，必須要落實每年減碳 10%」(國立自然科學博物館)。這是個聳動的議題，同時也是我們刻不容緩的課題。為了因應這些環境問題，科學家和工程師們正在努力尋找更環保的替代方案。如「實踐轉廢為寶、資源循環與低碳設計理念，呼應淨零碳排與永續發展目標」(國立自然科學博物館)。

水泥砂漿作為建築工程中最常使用的建材之一，廣泛應用於基礎建設、房屋建造和各類公共設施。然而，水泥工業卻也是全球最大的溫室氣體排放源之一，會使「大氣層中的 CO₂ 濃度過高，嚴重阻擋由地球表面反射的陽光，造成熱量不容易散失於大氣層之外的地球溫室效應惡化，產生地球上的溫度逐年升高的全球暖化現象」(國立台灣科學教育館)。

水泥砂漿中的水泥及砂在開採和高溫煅燒的加工過程中會釋放大量的二氧化碳，「每年全球約生產超過 40 億噸的水泥，約佔全球 7~8%的二氧化碳總排放量」(胡仕儀，2024)，導致生態系統的破壞，後續衍生的還可能包括「新疾病的產生與擴散、海平面上升、沙漠面積擴大等，甚至會危害人類生命」(國立台灣科學教育館)。

在減碳及永續資源中，除了技術創新，尋找替代原料也是現今研究的重點之一，目前在部分行業已發現「利用農林廢棄資材開發「生物炭」應用，可以有效循環使用資源，也能減少廢棄材料所衍生的環境問題」(農林部林業試驗所，2018)，因此本研究擬將蚵殼炭、菱角殼炭、椰殼炭、稻殼炭及竹炭等廢棄物製成之生物炭透過取代不同比例的水泥或砂進行水泥砂漿抗壓試驗及二氧化碳吸附試驗，期能發展對人類及地球更友善的建築材料。

三、探究目的與假設

(一) 探究目的：研發負碳環保新建材—將廢棄物製成之生物炭應用於水泥砂漿中，解決廢棄物造成的環境汙染問題，並利用生物炭的二氧化碳吸附能力增加建築物在未通風換氣期間之空氣品質，提升人類健康與福祉，並使建築工程對地球更友善。

(二) 假設：

1. 假設生物炭應用於水泥砂漿可維持或提高其強度品質。
2. 假設生物炭所製成之水泥砂漿具二氧化碳吸附能力。

四、探究方法與驗證步驟

如圖 1 所示，本研究使用蚵殼炭、菱角殼炭、椰殼炭、稻殼炭及竹炭等五種不同的生物炭，以 5%、10%、15%、20% 的比例分別取代砂和水泥製程水泥砂漿，再以一般水泥砂漿 (0% 取代率) 作為對照組，透過抗壓試驗及二氧化碳吸附試驗分析其抗壓成效及碳吸附能力。

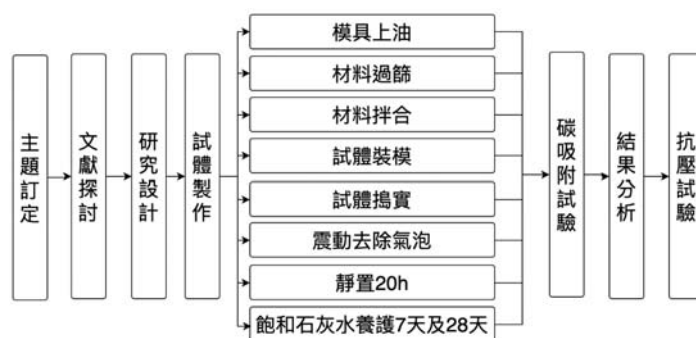


圖 1：研究流程圖

五、結論與生活應用

(一) 各類型環保新建材抗壓強度分析

如圖2所示，早期最佳抗壓強度為蚵殼炭取代10%水泥 (301.97 kgf/cm²)，高於一般水泥強度31%；其次為椰殼炭取代15%砂 (293.61 kgf/cm²)，高於一般水泥強度27%；第三則是椰殼炭取代10%砂 (291.77 kgf/cm²)，高於一般水泥強度26%。

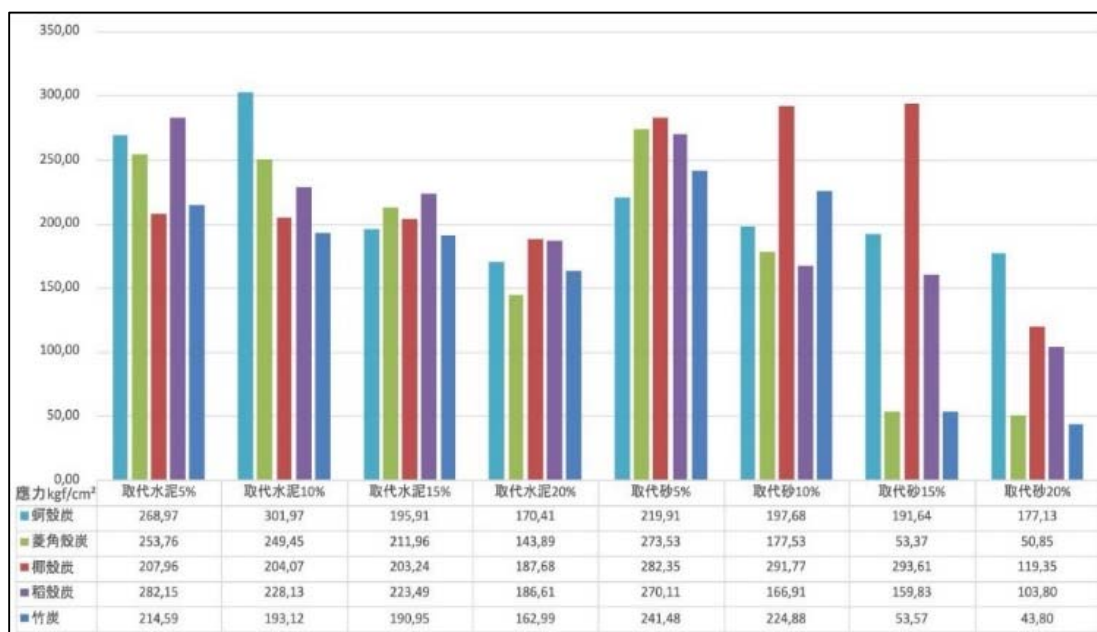


圖2：早期抗壓強度分析

晚期抗壓強度如圖3所示，最佳抗壓強度為蚵殼炭取代10%水泥 (431.84 kgf/cm²)，高於一般水泥強度23%；其次為椰殼炭取代15%砂 (419.17 kgf/cm²)，高於一般水泥強度19%；第三則是椰殼炭取代10%砂 (414.40kgf/cm²)，高於一般水泥強度18%。

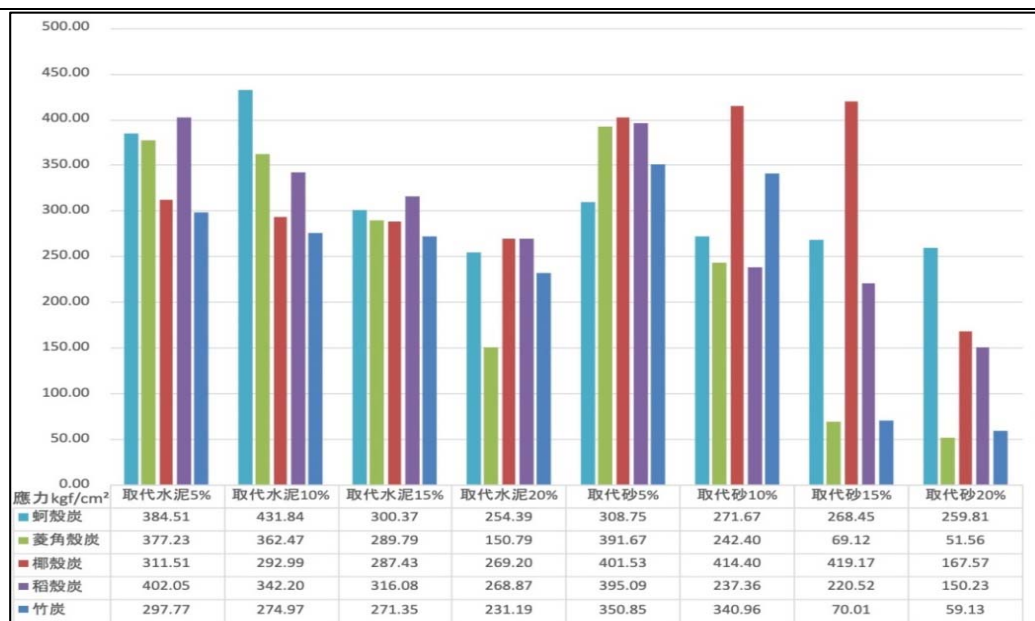


圖3：晚期抗壓強度分析

(二)各類型環保新建材二氧化碳吸附成效分析

本研究將不同取代型式及不同取代比例之蚵殼炭、菱角殼炭、椰殼炭、稻殼炭及竹炭水泥砂漿試體養護28天後，以密封手套箱進行二氧化碳吸附試驗。首先在箱中放入三個試體，並以密封盒蓋住，同時放入裝有定量醋酸之密封罐及定量小蘇打粉，再將二氧化碳偵測器固定在密封箱內同一位置。在密封箱緊閉後以內部手套操作，將小蘇打粉倒入裝有醋酸之密封罐中，等待5分鐘後將密封罐蓋緊，以停止二氧化碳持續產生，當二氧化碳偵測器於5000ppm左右且持平後，立即打開試體的蓋子，讓試體開始吸附二氧化碳，並觀測及記錄20分鐘內的變化。

1. 蚵殼炭二氧化碳吸附成效分析

如圖4及圖5所示，蚵殼炭在二氧化碳吸附試驗中以取代20%砂的效果最佳，20分鐘總吸附量可達2265ppm，其次為取代20%水泥，總吸附量為2212ppm，第三則為取代15%砂，總吸附量為1755ppm。從結果可發現隨著取代比例越高，總吸附量越高，且取代砂在二氧化碳吸附的效果較取代水泥好。

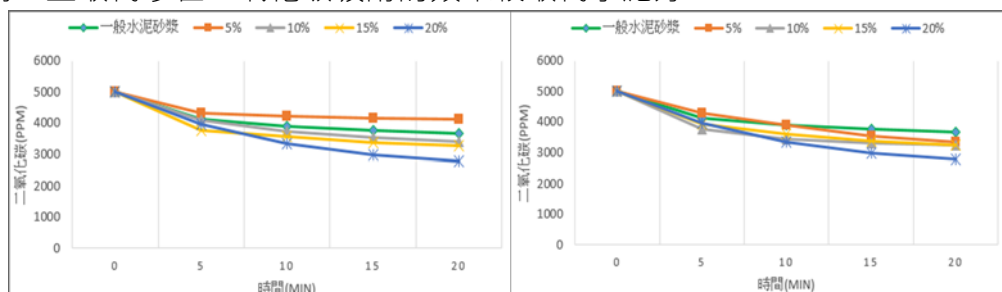


圖4：蚵殼炭取代水泥碳吸附成效

圖5：蚵殼炭取代砂碳吸附成效

2. 菱角殼炭二氧化碳吸附成效分析

如圖6及圖7所示，菱角殼炭在二氧化碳吸附試驗中以取代20%砂的效果最佳，20分鐘總吸附量可達3382ppm，其次為取代15%砂，總吸附量為3127ppm，第三名則為取代10%砂，總吸附量為2982ppm。從結果可發現隨著取代比例越高，總吸附

量越高，且取代砂在二氧化碳吸附的效果遠高於取代水泥。

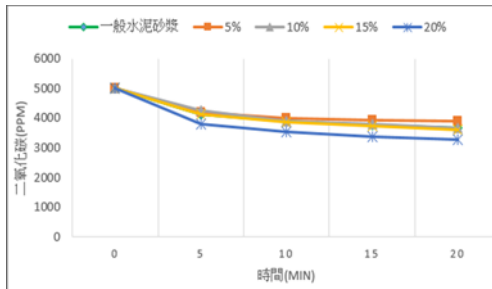


圖6：菱角殼炭取代水泥碳吸附成效

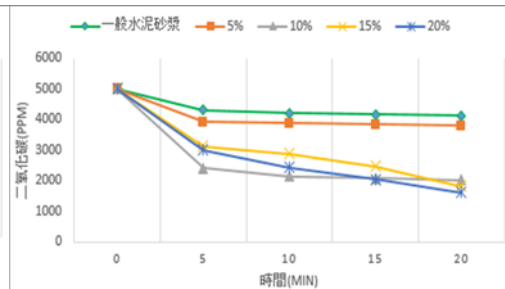


圖7：菱角殼炭取代砂碳吸附成效

3. 椰殼炭二氧化碳吸附成效分析

如圖8及圖9所示，椰殼炭在二氧化碳吸附試驗中以取代20%砂的效果最佳，20分鐘總吸附量可達2770ppm，其次為取代20%水泥，總吸附量為2231ppm，第三名則為取代15%水泥，總吸附量為1974ppm。可發現隨著取代比例越高，總吸附量越高，除了在5%時不相上下外，取代砂的二氧化碳吸附效果皆較取代水泥佳。

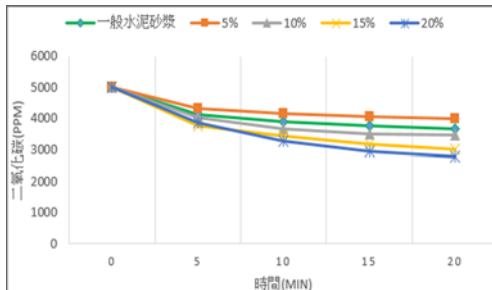


圖8：椰殼炭取代水泥碳吸附成效

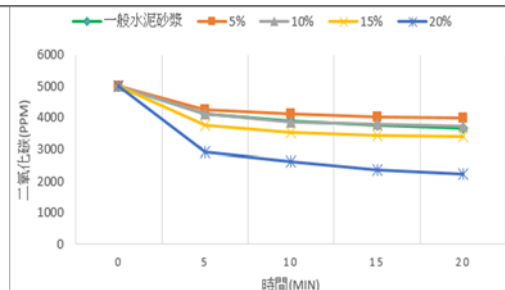


圖9：椰殼炭取代砂碳吸附成效

4. 稻殼炭二氧化碳吸附成效分析

如圖10及圖11所示，稻殼炭在二氧化碳吸附試驗中以取代20%砂的效果最佳，20分鐘總吸附量可達2544ppm，其次為取代15%砂，總吸附量為2154ppm，第三名則為取代20%水泥，總吸附量為2068ppm。從結果可發現隨著取代比例越高，總吸附量越高，且取代砂在二氧化碳吸附的效果大多較取代水泥好。

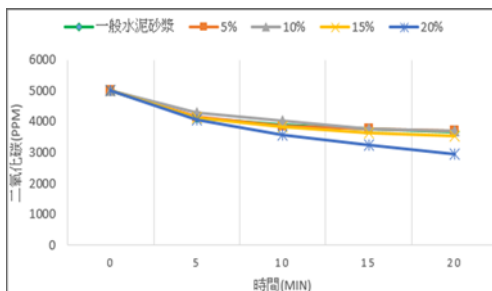


圖10：稻殼炭取代水泥碳吸附成效

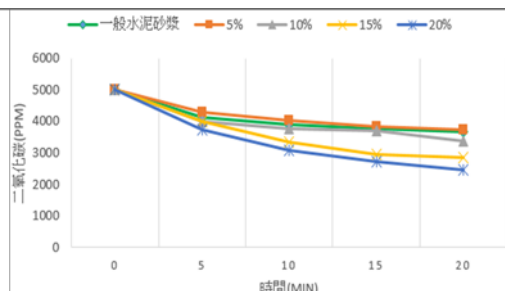


圖11：稻殼炭取代砂碳吸附成效

5. 竹炭二氧化碳吸附成效分析

如圖12及圖13所示，竹炭在二氧化碳吸附試驗中以取代20%砂的效果最佳，20分鐘總吸附量可達3665ppm，其次為取代20%水泥（2311ppm）及取代15%砂（2310ppm）。從結果亦可發現隨著取代比例越高，總吸附量越高，且取代砂在二氧化碳吸附的效果大多較取代水泥好。

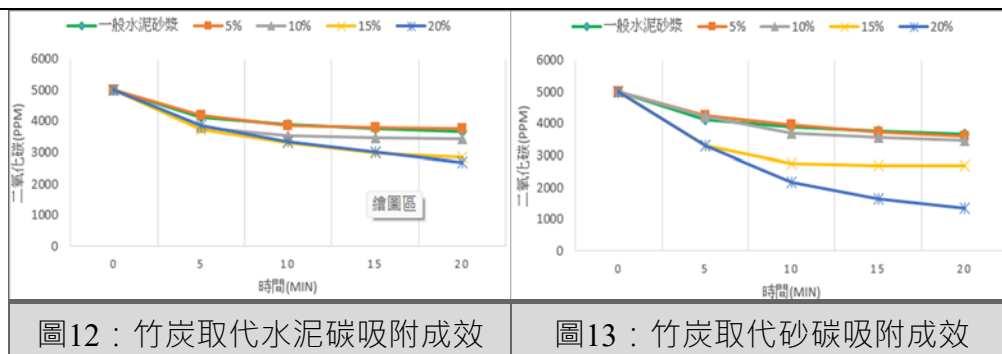


圖13：竹炭取代砂碳吸附成效

6. 各類型生物炭水泥砂漿二氧化碳吸附成效差異分析

一般水泥砂漿試體在20分鐘內之二氧化碳總吸附量為877 ppm，而根據結果顯示，生物炭製成之水泥砂漿試體之二氧化碳吸附能力皆較一般水泥砂漿試體佳。

在所有試驗結果中，二氧化碳吸附能力最佳為竹炭取代20%砂，總吸附量為3665ppm；其次為菱角殼炭取代20%砂，總吸附量可達3382ppm；排名第三為菱角殼炭取代15%砂，總吸附量為3127ppm；第四名為菱角殼炭取代10%砂，總吸附量為2982ppm；第五名則是椰殼炭取代20%砂，總吸附量為2770ppm。故若以生物炭種類綜觀之，二氧化碳吸附能力最佳為菱角殼炭及竹炭，二者不相上下，第三為稻殼炭，最後則是椰殼炭與蚵殼炭，且二者差異不大。

以取代型式而言，蚵殼炭、菱角殼炭、椰殼炭、稻殼炭及竹炭皆以取代砂之二氧化碳吸附能力較佳。其中最佳者為菱角殼炭取代砂，其次為竹炭取代砂，後面依序則是稻殼炭取代砂、蚵殼炭取代砂、椰殼炭取代水泥。

(三)生活應用分析

「蚵殼碳化後 CaO 、 MgO 活性相當高，常做為乾燥劑、防潮劑之用，蚵殼粉水泥砂漿具有出色的隔音、隔熱和防火特性」(陳星宏，2010)，故可作為隔音牆、隔熱牆或防火牆等；菱角殼生物炭「能運用於改善土質、清淨空氣、淨化水質等功能，因此可以將其拿來作為除臭、吸附甲醛、過濾水質等相關產品」(楊承祐，2023)，故適合用於工廠等高有害氣體之特定工作場所；由椰殼做為原料製成的水泥砂漿，「其 BPN 值隨著水灰比及粒徑的增大其 BPN 值也愈大，可見水灰比越大、粒徑越大，其抗滑也越好」(蘇人輝、陳建帆、馮聖伊，2010)，適合用於需要高抗滑性的場所，如人行道、樓梯、廁所地面等，以提高安全性；稻殼炭中的「高活性 SiO_2 能與水泥水化作用生成氫氧化鈣，增加強度，並使混凝土密實性增加，能製造密實、耐鋼鏽混凝土，可製成水泥管、井蓋及草坪磚等」(李明君，2021)；竹炭「有調整溫溼度之功能，在不同溫度下炭化而成的竹炭可以吸附的溼氣程度不一，與竹炭之孔徑有密切關係」(李其諺，2019)，適合用於濕氣較高或多雨的地方，包含廚房及浴室牆面等。

(四)總結

1. 蚵殼炭、菱角殼炭、椰殼炭、稻殼炭及竹炭水泥砂漿在二氧化碳吸附試驗結果中，二氧化碳吸附能力皆較一般水泥砂漿試體佳，且二氧化碳吸附量與取代比例皆成正比，取代比例越高，總吸附量越高。
2. 以取代型式而言，生物炭水泥砂漿在取代砂的二氧化碳吸附效果較取代水泥好。其中以菱角殼炭取代砂為最佳，其次為竹炭取代砂，後面依序則是稻殼炭取代砂、蚵殼炭取代砂、竹炭取代水泥。

3. 在所有的試驗結果中，二氧化碳吸附能力最佳為竹炭取代 20%砂 (3665ppm)；其次為菱角殼炭取代 20%砂 (3382ppm)；排名第三為菱角殼炭取代 15%砂。(3127ppm)。而若以生物炭種類綜觀之，二氧化碳吸附能力最佳為菱角殼炭，其次為竹炭，第三為稻殼炭。
4. 以符合一般水泥砂漿強度及二氧化碳吸附效果綜合而言，負碳環保新建材綜合效益最佳為蚵殼炭取代 10%水泥(1598ppm)，其次依序為椰殼炭取代 15%砂。(1589ppm)、竹炭取代 5%砂 (1397 ppm)、菱角殼炭取代 10%水泥 (1345ppm)、稻殼炭取代 5%水泥 (1303ppm)、椰殼炭取代 10%砂 (1281ppm)、稻殼炭取代 5%砂 (1281ppm)、蚵殼取代 5%水泥 (1280ppm)、菱角殼炭取代 5%砂 (1198ppm)、菱角殼炭取代 5%水泥 (1109ppm)、椰殼炭取代 5%砂 (1027ppm)，顯示了生物炭作為水泥砂漿成分的潛在優勢，特別是在材料應用發展上。
5. 本研究之負碳環保新建材中，蚵殼炭水泥砂漿適合用於隔音牆、隔熱牆或防火牆等；菱角殼炭水泥砂漿可用於工廠等高有害氣體之特定工作場所，以吸附有害氣體；由椰殼炭水泥砂漿則適合用在人行道、樓梯、廁所地面等高抗滑性的場所；稻殼炭水泥砂漿可製成水泥管、井蓋及草坪磚等；竹炭則適合用於廚房及浴室牆面等濕氣較高或多雨的地方。
6. 本研究主要針對生物炭水泥砂漿的二氧化碳成效吸附進行試驗，建議未來可針對各式生物炭之特性進行相關試驗分析，以確認其應用範圍。此外，亦可針對更詳細之取代比例進行更深入之探討。

參考資料

胡仕儀(2024)。水泥產業淨零減碳作法及未來與石化產業合作契機。工研院產科國際所。農林部林業試驗所 (2018 年 11 月 12 日)。利用農林廢棄資材開發「生物炭」應用。
<https://reurl.cc/b3KdQy>。

陳星宏(2010)。用蚵殼粉改良酸性土壤之研究。立德大學資源環境研究所：碩士論文。

楊承祐(2023)。以農業廢棄物菱角殼炭作為環氧樹脂之綠色難燃劑及其複合材料防火性能之研究。弘光科技大學環境與安全衛生工程系：碩士論文。

馮聖伊(2010)。利用椰子殼輕質骨材拌製輕質混凝土磚之研究。逢甲大學土木工程所：碩士論文。

李明君(2021)。稻殼灰與矽藻土加入高強度透水混凝土之探討。朝陽科技大學之營建工程系：碩士論文。

李其諺(2019)。竹炭熱裂解機制與應用研究。國立中正大學工學院機械工程學系：碩士論文。

國立台灣科學教育館。節能減碳從個人做起。
<https://www.ntsec.edu.tw/liveSupply/detail.aspx?a=6829&cat=6843&p=1&lid=8323>。

國立台灣科學教育館。節能減碳救救我們的地球。
<https://www.ntsec.edu.tw/liveSupply/detail.aspx?a=6829&cat=6841&p=1&lid=6899>。

國立自然科學博物館。微景之韻—多肉植物的寧靜角落。
<https://www.nmns.edu.tw/ch/exhibitions/special-exhibitions/Exhibition-000558/>。

國立自然科學博物館。全球沸騰時代來臨！科博館《氣候行動》特展呈現氣候變遷危機。
<https://www.nmns.edu.tw/ch/information/news/News-001647/>