

# 中華民國第 64 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國中組 生活與應用科學(三)科

團隊合作獎

033006

淨菱碳排の蚵學研究

學校名稱：臺南市立官田國民中學

作者：  國二 曹宇謙  國二 曾靖安  國二 林家妍	指導老師：  李政憲  李承遠
---	-----------------------------

關鍵詞：牡蠣殼水泥、循環經濟、淨零碳排

# 作品名稱

## 淨零碳排の蚵學研究

### 摘要

在本研究中，採用煨燒後牡蠣殼（氧化鈣）作為新循環材料用以取代傳統高碳排水泥材料達到減碳的效果，同時利用生物炭具高穩定性且不易分解的特性添加至牡蠣殼水泥中達到固碳之目的；而牡蠣殼水泥與菱殼炭之間存在無機物-有機物的材料鍵結問題，透過日常生活中常見的食品添加劑作為黏著劑的實驗研究。實驗結果顯示，攪拌時間 50 分鐘、氧化鈣與水為 1 比 2 是最佳製備參數；3wt%玉米澱粉作為黏著劑具有最佳的成品耐受壓力（5.33 公斤）與透水性（1.05 秒）。

本研究實驗成功找出牡蠣殼水泥製備參數與透過無毒性食品添加劑作為材料黏著劑來達到以「分子料理」的概念結合食品科學走向「友善環境」的生產兼具減碳及固碳的效果，實現全球「2050 淨零碳排」之目標！

關鍵字：牡蠣殼水泥、生物炭、循環經濟、淨零碳排

備註：本作品參考文獻及部分內文所引用之圖片均有註記參考出處；其餘化學藥品、分析儀器、實驗器材、研究過程或方法及研究結果內文中之數據圖表製作與圖片拍攝均出自於指導教師所製作。

# 壹、前言

## 一、研究動機

### (一) 農、漁業剩餘資材

根據農業部資料指出，台灣農業因生產過程產出的農業剩餘資材主要有三個部分，1.農業生產未利用殘體（作物未食用部分、動物毛皮、骨頭與鱗片）；2.生產過程使用的剩餘資材（水苔、菇包、農地膜、人造介質）；3.畜禽動物排遺物，傳統上的處理方式用以製成堆肥方式使用回歸生態，然而從循環經濟的觀點思考，不同生物資材間存在不同組成、特性與再利用價值，單純以堆肥方式統一處理並未能有效運用該資源。

台灣的農業每年產出約五百萬公噸的農業剩餘資材，其分佈與種類如下圖 1 所示，主要剩餘資材產生量以農業（49.40%）、畜牧業（46.99%）及漁業（2.32%）為前三大佔比，倘若能找出友善環境的處理方式及對應新的再利用方式，傳統在處理令人困擾的剩餘資材上將有不同的全新面貌，也將會是化危機為轉機的新契機。

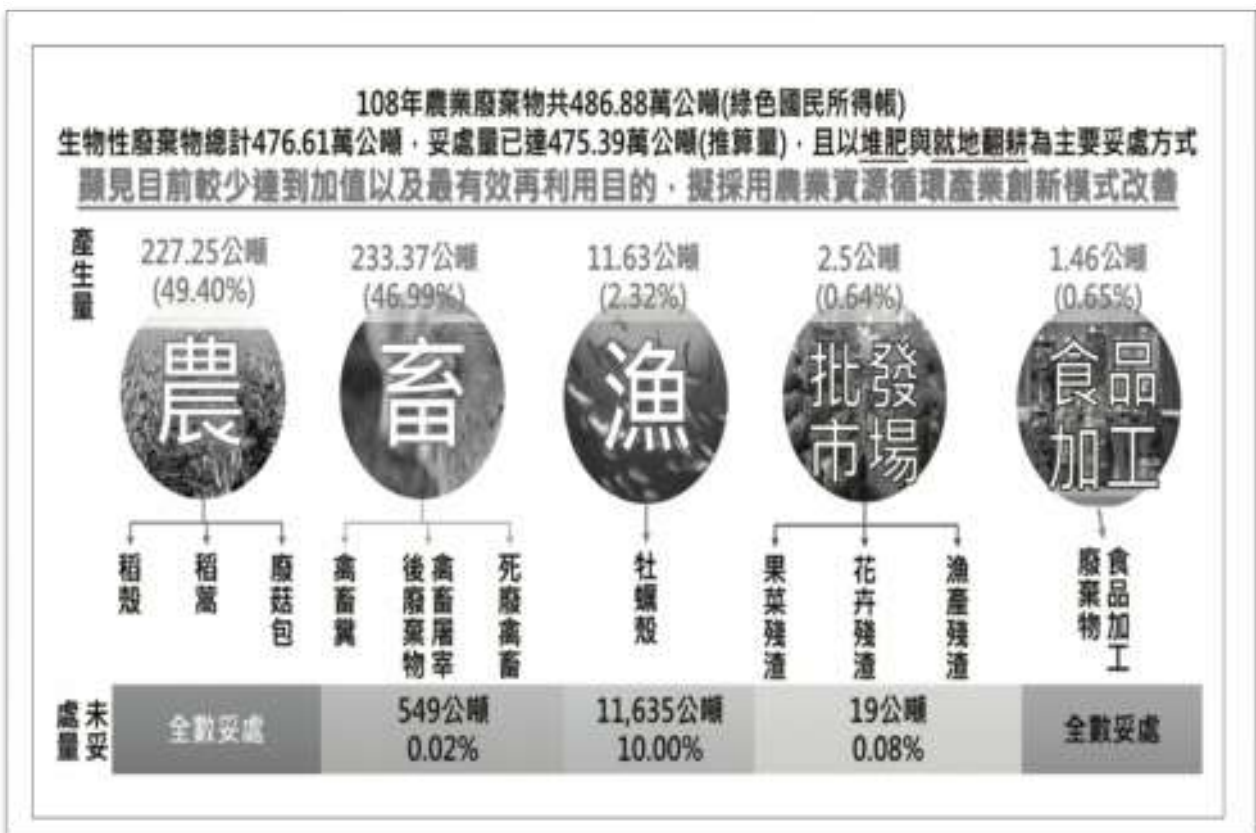


圖 1.臺灣農業廢棄物種類分佈現況。

資料來源：主計處（2020），108年綠色國民所得帳-農業廢棄物排放帳。

## （二）淨零碳排（Net Zero Emissions）

根據綠色和平（GREENPEACE）資料指出，淨零碳排（Net Zero Emissions）指的是在特定一段時間內，全球人為排放的溫室氣體量和人為移除的量相抵銷後，使其結果為零。也就是說，淨零不代表完全不排放，而是以極大程度減少人為造成的溫室氣體排放。淨零碳排的核心目標，就是阻止地球持續升溫。聯合國政府間氣候變遷專門委員會（IPCC）呼籲，全球如果要將平均升溫控制在攝氏 1.5 度內，必須在 2030 年減排至少 43%、在 2050 年實現淨零碳排。於此，回到地方我們是否也能思考透過科學研究的方式來減少地方在從事農業生產與經濟活動過程中所產生的碳排放。

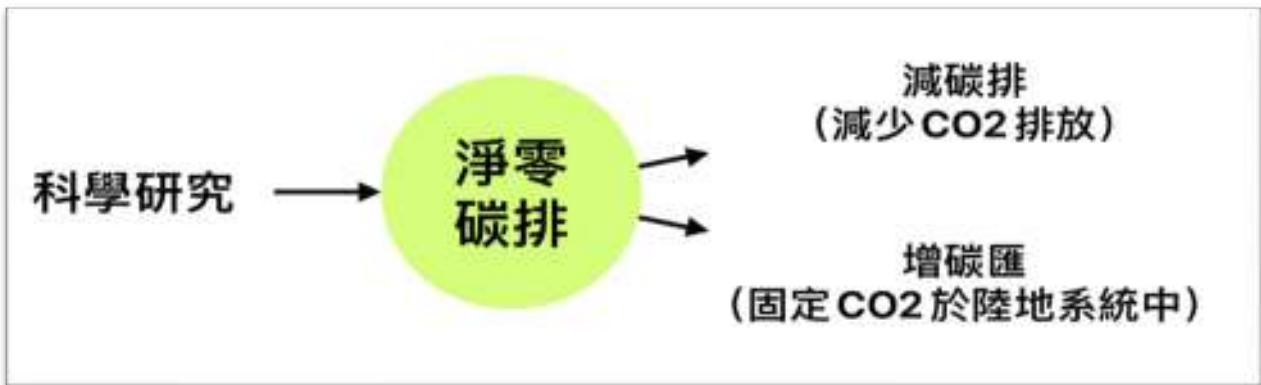


圖 2.透過科學研究以「淨零碳排」為目標的思考模式。（資料來源：出自於指導老師所繪製）

## （三）循環經濟

「循環經濟」是一套資源可回復、可再生的經濟和產業的系統。相較於傳統線性經濟「開採-製造-消費-拋棄」的模式，循環經濟採行「製造-使用-循環」的模式，透過重新設計、商業模式、提升能資源效率，從源頭避免污染與廢棄物的產生，使用更少資源來創造更多價值。



圖 3.循環經濟思維。（資料來源：出自於循環台灣基金會）

從農業剩餘資材的觀點出發，我們發現將生物資材透過高溫、低氧的熱裂解反應轉變成生物炭，不僅可減少剩餘資材因棄置焚燒所帶來的空氣污染與碳排放問題，亦可將大氣中之CO<sub>2</sub>固定於陸地系統中，同時扮演環境復育的循環材料。

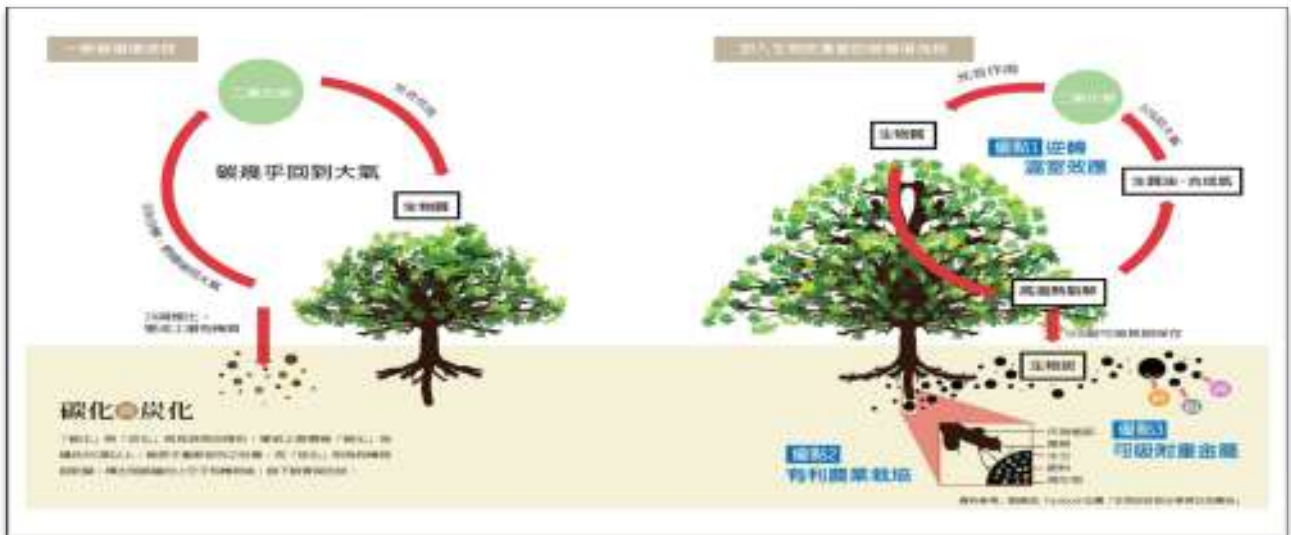


圖 4.生物炭產製的碳循環流程。（資料來源：出自於農業部）

從漁業剩餘資材的觀點出發，我們發現台糖公司以「創新引領者」投入「牡蠣殼循環利用」，投資 1.7 億元興建一座以牡蠣殼回收再製的生技材料廠，透過與工研院攜手合作，以循環再生技術，將原丟棄之牡蠣殼回收鍛燒為碳酸鈣原料加工，供應飼料廠和農場的碳酸鈣自用需求，並為國內製造飼料與肥料提供碳酸鈣料源，取代進口材料；同時我們亦發現，牡蠣殼經高溫鍛燒下所產生的石灰是古代用來作為修復古蹟的重要材料，有別於現今建築常用的高碳排水泥材料。



圖 5. 台糖牡蠣殼碳酸鈣生技材料廠針對牡蠣殼的多元價值開發及應用。（出自於台糖公司）

本次”淨菱碳排の蚵學研究”主題建立在「循環經濟」的基礎思維之上，我們思考如何透過台灣在地農、漁剩餘資材的再利用來減少走向傳統焚燒、掩埋所帶來的碳排放與空氣污染等問題以呼應全球「2050 淨零碳排」的目標，思考路徑如下圖 6 所示：

思考一、將廢棄菱角殼再製所形成的菱殼炭循環材料，具有高密度孔洞、高穩定性且不易分解等特性，用於建材上是否可作為提升建材的排水性、透氣性等之功能性材料，並同時扮演將二氧化碳（CO<sub>2</sub>）固定於建材中的角色。

思考二、將廢棄牡蠣殼再製所形成的牡蠣殼循環材料，傳統上常用於古蹟修復，用於建材上是否可用來取代現今常見的水泥材料，以減少水泥在開挖過程的高碳排（CO<sub>2</sub>）再回到大氣中造成溫室效益、氣候變遷。

思考三、常見的食品添加劑因可食用之緣故，因此在毒理性與環境危害上均較為友善，因此思考以食品科學的角度結合無毒性的食品添加劑材料作為黏結菱殼炭循環材料（有機物）與牡蠣殼循環材料（無機物）的介質，以達友善環境之目的。

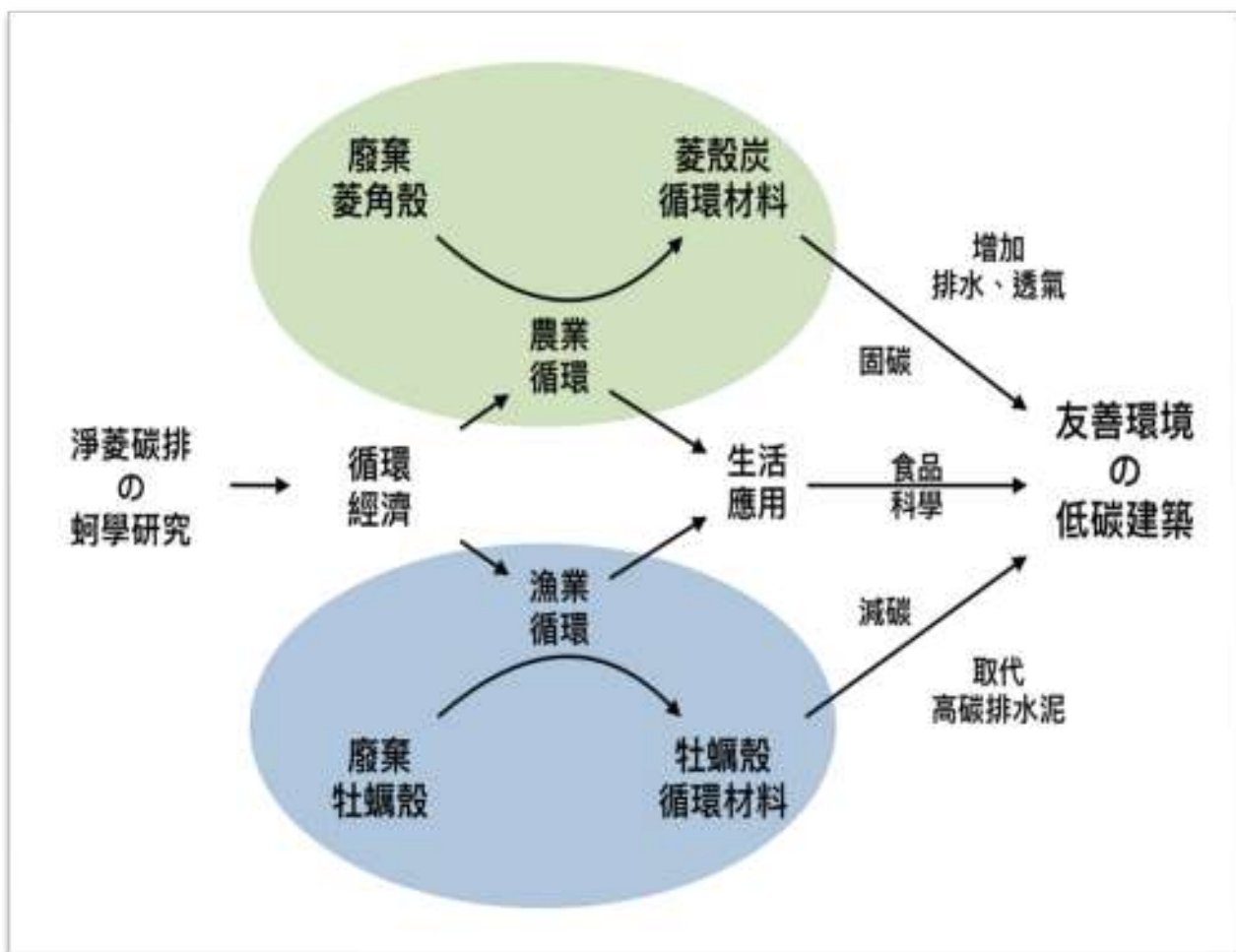


圖 6.淨菱碳排の蚵學研究思維路徑圖。（資料來源：出自於指導老師所繪製）

## 二、 目的

### （一） 利用農漁循環材料製作低碳建築材料

1. 觀察並找出牡蠣殼水泥的製備方式
2. 找出適合的食品添加劑作為黏著劑
3. 以菱殼炭添加作為固碳材料的建材

### （二） 應用實驗

1. 硬度實驗測試
2. 透水性實驗測試

## 三、 文獻回顧

### （一） 古蹟修復材料

古蹟修復中使用的灰作材料通常是指石灰、石膏、黏土等天然材料或其混合物。這些材料在古建築修復中扮演著重要的角色，具有以下特點和用途：

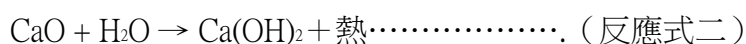
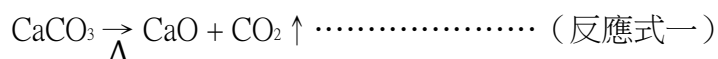
1. 保護性：灰作材料具有良好的透氣性和防潮性，能夠保護古蹟建築材料不受潮濕和霉菌的侵害。
2. 可塑性：灰作材料在施工時具有一定的可塑性，能夠適應不規則的建築表面，填補裂縫和缺陷。
3. 附著力：灰作材料能夠與古建築原有的材料良好地結合，形成穩固的結構。
4. 可修復性：灰作材料在乾燥後可以修復和加工，使修復後的古蹟表面看起來與原有部分一致。
5. 環保性：灰作材料大多來自於天然礦物資源，無污染、可再生，對環境友好。

在古蹟修復中，選擇適當的灰作材料非常重要，需要考慮到古蹟的材料和結構特點、修復的需要、氣候環境等因素。通常，古蹟修復工程會配合傳統的建築技術和工藝，以保證修復的效果和長期穩定性。

「灰作」為古蹟修復工程中使用最廣泛、最不可或缺的材料，過去傳統古蹟修復工程常因材料硬化太慢、強度不足…等相關因素而改採用水泥材料取代；然而，水泥雖在強度、耐水性等其他性質遠高於灰作，但並不適用於灰作材料，原因如下：

1. 水泥使用是不可逆，用於古蹟上如要再去除，會損傷原先的古蹟材料
2. 水泥材料抗拉、抗壓等特性與古蹟中的材料無法相互配合。
3. 水泥孔隙率低，不易滲透，會保住水和水氣阻礙蒸發，使牆體受潮

於此，政府已於民國 71 年公佈「文化資產保存法」，說明古蹟修復工程需採用原用或相近的材料進行修復，可知「灰作」在古蹟修復上仍具有相當重要及不可取代之特性。而牡蠣殼之所以能作為灰作的重要原料，是因為牡蠣殼者主要成份為碳酸鈣（CaCO<sub>3</sub>），碳酸鈣在 900 度以上的高溫下會生成二氧化碳（CO<sub>2</sub>）與氧化鈣（CaO）（反應式一），加水後即為熟石灰（反應式二），再吸收二氧化碳就形成不溶於水且質地堅硬的碳酸鈣材料（反應式三），其化學反應式如下所示：



## （二）食品添加物-黏稠劑

食品黏稠劑通常指能溶解於水中，並在一定條件下充分水化形成黏稠、滑膩溶液的大分子物質，通稱為食品膠或膠體。常用的黏稠劑有明膠、酪蛋白酸鈉、阿拉伯膠、海藻酸鈉、β-環狀糊精、玉米糖膠、海藻酸鈉、羧甲基纖維素鈉(CMC)、糊化澱粉、醋酸澱粉、磷酸二澱粉、磷酸化磷酸二澱粉、甲基纖維素…等。食品黏稠劑做為食品加工中做為產品之膠黏、包膠、成膜、乳化、穩定…等作用。

一般黏稠劑是在溶液中容易形成網狀結構或具有較多親水基團的膠體，具有較高的黏度。因此，具有不同分子結構的黏稠劑，即使在相同濃度和其他條件下，黏度亦可能有較大的差



別。同一黏稠劑品種，隨著平均相對分子質量的增加，形成網狀結構的幾率也增加，故黏稠劑的黏度與相對分子質量密切相關，即相對分子質量越大，黏度也越大。食品在生產和儲存過程中黏度下降，其主要原因是黏稠劑降解，相對分子質量變小。在本次實驗中，我們選擇常見的奈米纖維素、甲基纖維素、海藻膠、玉米澱粉作為黏著劑之比較試驗。

纖維素是自然界中存量豐富的可再生高分子材料之一，由綠色植物發現並分離纖維素而來，奈米纖維素具有無毒、可生物降解、可再生、生物相容等性質，適合用於各種應用領域，如下圖 7 所示：

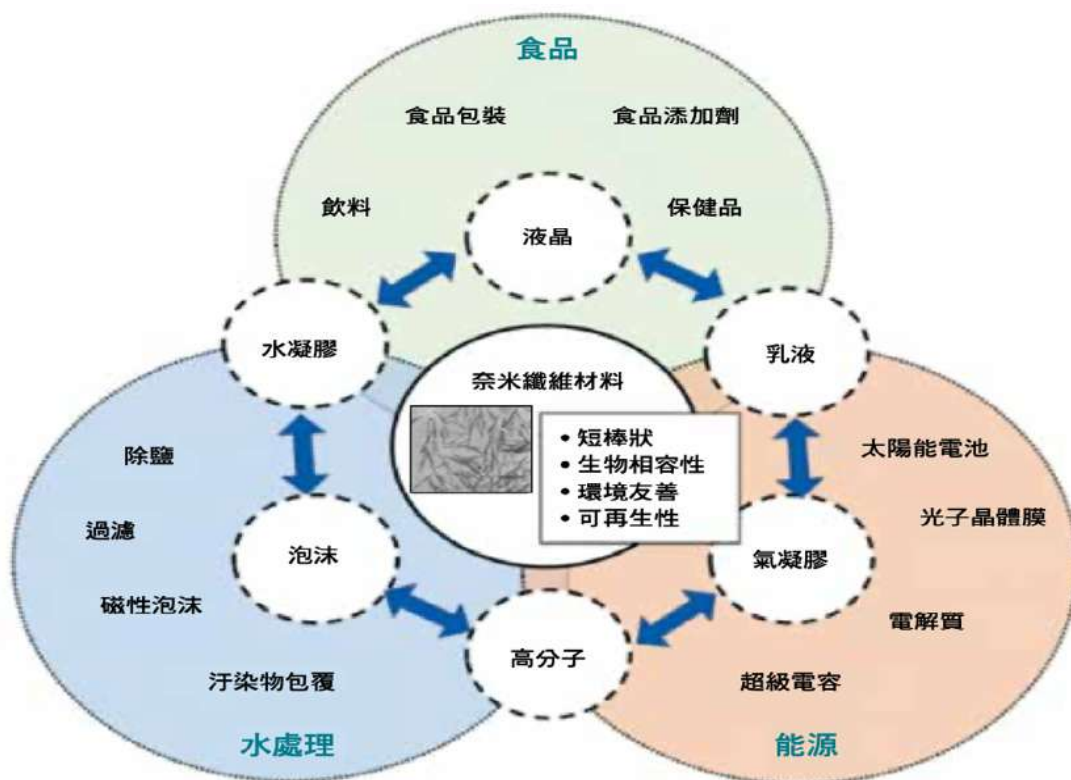


圖 7.奈米纖維素的特性及其於各領域的應用。(出自於 ScienceDirect<sup>®</sup>)

### (三) 生物炭固碳效益

生物炭是一種碳質材料，通常由有機物質（如木材、農業殘體、廚房廢物等）在無氧或低氧環境中經過熱解或焦化製成。它與一般炭相比，具有更高的孔隙度和表面積，通常用於多種應用中，包括農業、環境保護和工業等領域。

生物炭具有一些主要特性和應用：

1. 高孔隙度和表面積：生物炭具有高度多孔的結構，提供了大量的表面積，有利於吸附和固定其他物質，如養分、有機物和污染物等。

2. 土壤改良劑：生物炭可用作土壤改良劑，改善土壤結構、增加土壤肥力和保水性，並有助於減少肥料和水的流失。
3. 碳封存：生物炭可以將大量碳永久地固定在土壤中，從而幫助減緩氣候變化，降低大氣中二氧化碳的濃度。
4. 污染治理：生物炭具有良好的吸附能力，可以用於水質和大氣污染治理，吸附和去除水中的重金屬、有機污染物和氣體等。
5. 畜禽飼料添加劑：生物炭可以用作畜禽的飼料添加劑，有助於改善腸道健康、減少氣臭和提高飼料效率。
6. 能源生產：生物炭可以作為生物質能源的原料，用於發電、燃料生產等，有助於減少對化石能源的依賴。

生物炭具有廣泛的應用前景，能夠為農業、環境保護和能源等領域提供可持續的解決方案。以台灣地區為例，台南官田菱角炭為經典「廢材變烏金」之案例，將官田在地菱角殼透過科學方法轉化成菱殼炭循環材料，由於其高溫炭化下造就期高孔隙率與高穩定性等特質，同實根據歷年相關研究資料顯示，每 1kg 的生物炭再利用約可減少 2.93 kg 的 CO<sub>2</sub> 回到大氣中，如能廣泛的被再利用則能實現將大量 CO<sub>2</sub> 固定於陸地系統中形成碳封存，如下圖 8 所示：

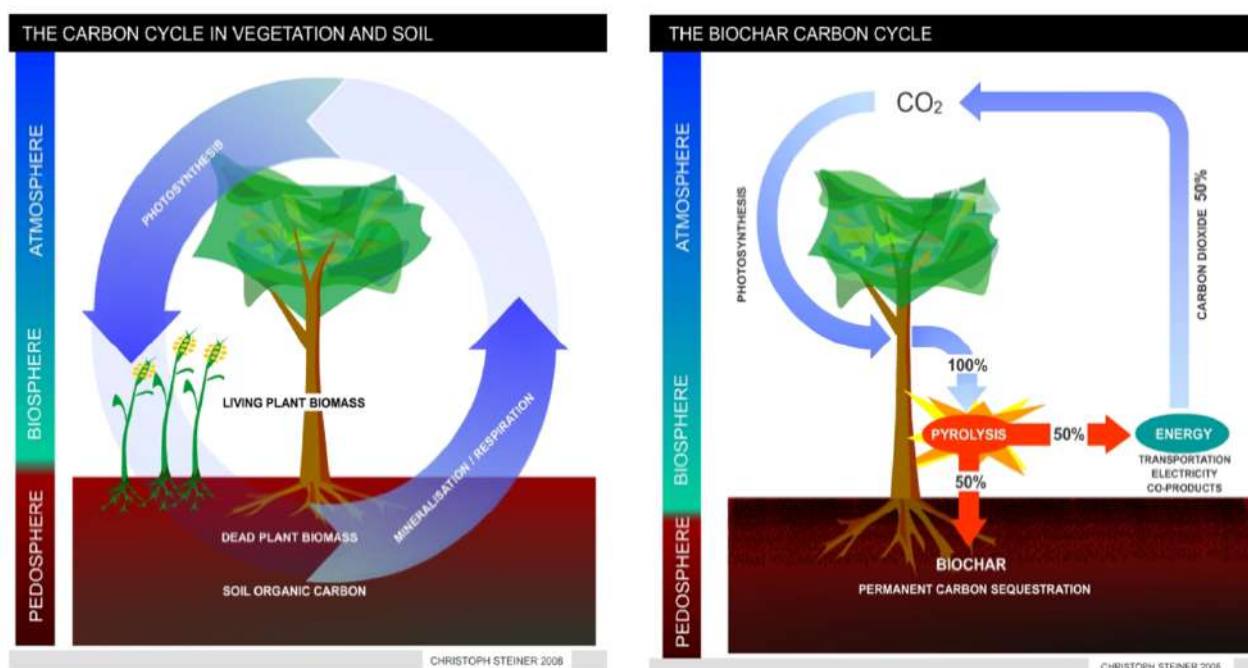


圖 8.生物炭具有高碳匯的潛能示意。(出自於 Biochar.org)


## 貳、 研究設備及器材

### 一、 化學藥品

藥品名稱	化學式	圖片	用途
牡蠣殼粉 (活化)	CaO		水泥 原料
奈米 纖維素	$(C_6H_{10}O_5)_n$		黏著劑
甲基 纖維素	$C_6H_7O_2(OH)_x(OCH_3)_y$		黏著劑
玉米 澱粉	$(C_6H_{10}O_5)_n$		黏著劑
海藻膠	$C_5H_7O_4COONa$		黏著劑
菱殼 炭粉	C		功能性 材料

矽藻土	SiO <sub>2</sub>		功能性 材料
-----	------------------	--	-----------

## 二、 分析儀器

儀器名稱	型號	圖片	用途
桌上型 電子秤	GP-01 Scale AHB-101 Max=300g Min=2g d=0.01g		秤重
錠劑硬度計	HslangTai Model:TH-1	 數位式 Digital TH-1 (資料來源：出自於祥泰精機 股份有限公司官網)	測試合成材料的耐 受壓力

## 三、 實驗器材

器材名稱	圖片	規格	用途
勺子		-	取化學藥品
刮勺		-	攪拌複合材料用

培養皿		9 cm	填充材料使用
燒杯		50 mL	裝填材料用
燒杯		500mL	配置牡蠣殼水泥
滴管		3 mL	吸水
打蛋機		雄獅打蛋機 LE-001	攪拌水泥、黏著劑、功能性料
塑膠模具		-	灌模實驗用

## 參、 研究過程或方法

### 一、 利用農漁循環材料製作低碳建築材料

#### (一) 牡蠣殼水泥製備與觀察

步驟 1-1 準備 1 個 500 mL 燒杯。

步驟 1-2 取不同重量比(1:1.5/1:2/1:4/1:9)之牡蠣殼粉與水至燒杯中。

步驟 1-3 持續攪拌並觀察溫度變化

步驟 1-4 停止攪拌紀錄溫度



步驟 1-1



步驟 1-2



步驟 1-3



步驟 1-4

#### (二) 利用牡蠣殼水泥灌模

步驟 2-1 準備 1 個 50 mL 燒杯。

步驟 2-2 秤取定量之牡蠣殼水泥至燒杯中。

步驟 2-3 均勻攪拌後填充至培養皿中

步驟 2-4 靜置並等待乾燥



步驟 2-1



步驟 2-2



步驟 2-3



步驟 2-4

(三) 奈米纖維素的觀察與製備

步驟 3-1 準備 1 個 50 mL 燒杯。

步驟 3-2 取不同重量比(1wt%、2wt%、3wt%、5wt%、10wt%)之奈米纖維素與水至燒杯中。

步驟 3-3 持續攪拌至均勻溶解

步驟 3-4 填充至膠模並等待乾燥



步驟 3-1



步驟 3-2



步驟 3-3



步驟 3-4

(四) 利用牡蠣殼水泥與奈米纖維素灌模

步驟 4-1 準備 1 個塑膠容器。

步驟 4-2 取不同重量比(1wt%、2wt%、3wt%)之奈米纖維素與牡蠣殼水泥至燒杯中。

步驟 4-3 持續攪拌至均勻溶解

步驟 4-4 填充至培養皿並等待乾燥



步驟 4-1



步驟 4-2



步驟 4-3



步驟 4-4

(五) 比較不同類型的黏著劑

步驟 5-1 準備 1 個 50 mL 燒杯。

步驟 5-2 取定量 (3wt%) 之黏稠劑、牡蠣殼水泥至燒杯中。

步驟 5-3 持續攪拌至均勻溶解

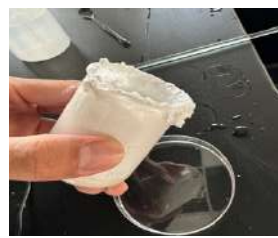
步驟 5-4 填充至培養皿並等待乾燥



步驟 5-1



步驟 5-2



步驟 5-3



步驟 5-4

(六) 功能性材料灌模測試

步驟 6-1 準備 1 個塑膠容器。

步驟 6-2 取不同比例之牡蠣殼水泥、黏著劑與功能性材料至塑膠容器中。

步驟 6-3 持續攪拌至均勻溶解

步驟 6-4 填充至膠模並等待乾燥



步驟 6-1



步驟 6-2



步驟 6-3



步驟 6-4



## 二、 應用實驗

### (一) 硬度觀察

步驟 1-1 準備樣品。

步驟 1-2 放置硬度計測量平台。

步驟 1-3 下壓至材料崩解出現裂痕

步驟 1-4 停止並記錄耐受壓力



步驟 1-1



步驟 1-2



步驟 1-3



步驟 1-4

### (二) 透水性觀察

步驟 1-1 準備 1 個燒杯及 1 支滴管。

步驟 1-2 滴 1 滴水至材料上並開始計時。

步驟 1-3 直到水滴完全滲入材料中

步驟 1-4 停止計時並記錄時間



步驟 1-1



步驟 1-2



步驟 1-3



步驟 1-4

## 肆、 研究結果

### 一、 利用農漁循環材料製作低碳材料

#### (一) 牡蠣殼水泥製備

在牡蠣殼水泥的製備實驗中，氧化鈣 (CaO) 加水會產生氫氧化鈣 (CaOH) 與放熱反應，因此我們嘗試觀察氧化鈣與水在不同比例下的溫度與時間之變化趨勢，如下圖 4-1 所示。根據實驗結果顯示，當氧化鈣加水後開始產生放熱反應，攪拌時間達 50 分鐘後溫度開始轉折下降，因此我們推測在配置牡蠣殼水泥的最佳攪拌時間為 50 分鐘；同時，我們觀察到隨著氧化鈣與水 (CaO/H<sub>2</sub>O) 的配置比例減少，其升溫曲線幅度亦呈現緩慢上升，溫差分別為 17.7°C (1/1.5)、16.5°C (1/2)、15°C (1/4)、8°C (1/9)，可合理推測氧化鈣溶於水的放熱過程中，大量的熱能被高比例的水溶液帶走，因此在升溫曲線上呈現較緩和的趨勢。

而在氧化鈣與水 (CaO/H<sub>2</sub>O) 的配置比例為 1:1 時，其水量不足以充分均勻溶解氧化鈣導致攪拌困難度提升而無法順利觀察實驗現象，如下圖 4-2 所示；我們觀察當氧化鈣與水 (CaO/H<sub>2</sub>O) 的配置比例為 1:2 時的牡蠣殼水泥具有較佳的流動填充性及較少的乾燥水量，是較合適的配置參數。

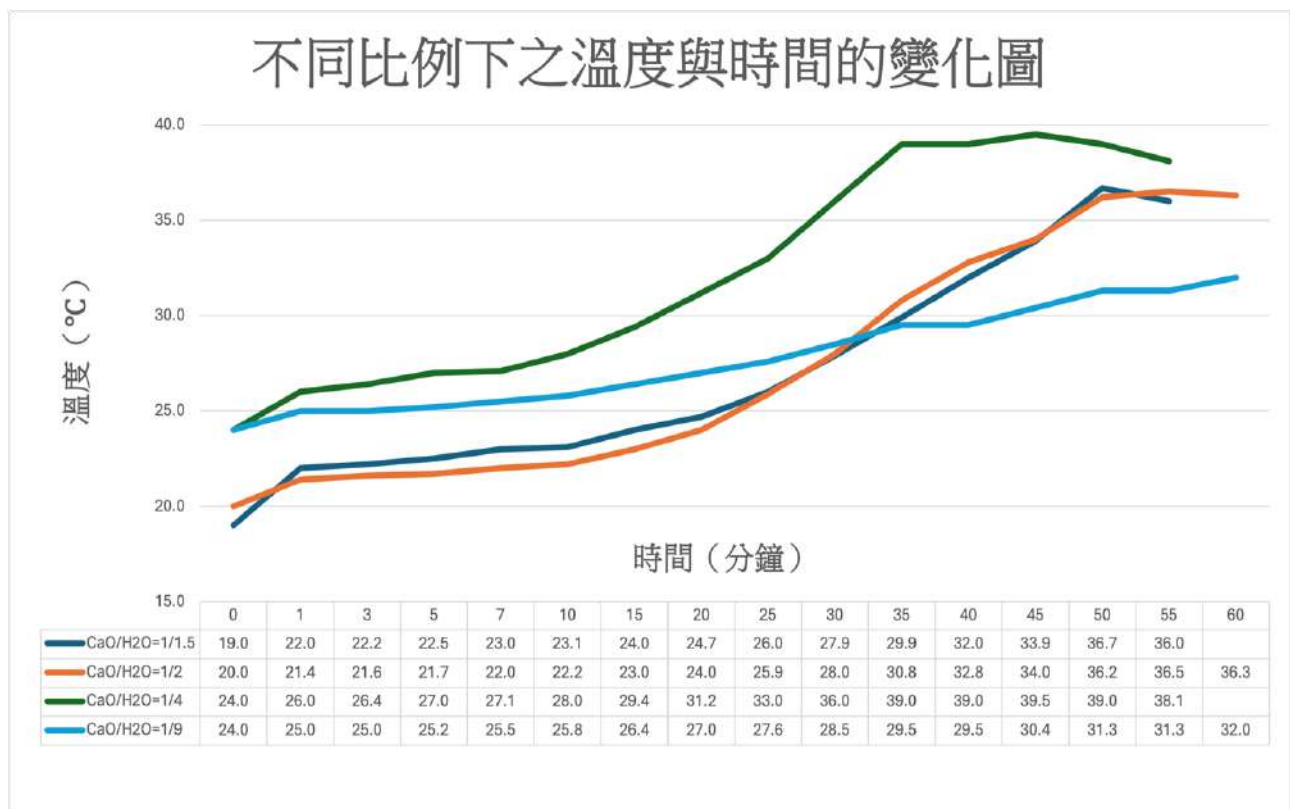


圖 4-1.不同氧化鈣與水的製備比例下之溫度與時間的變化圖。



圖 4-2. 氧化鈣與水 (CaO/H<sub>2</sub>O) 配置比例為 1:1 時之水泥製備情形。

### (二) 利用牡蠣殼水泥灌模

牡蠣殼水泥灌模實驗中，乾燥後的觀察如下圖 4-3 所示，根據實驗結果可明顯觀察到碎裂之情形，推測材料於乾燥後間的黏著力不足導致裂縫產生。結果說明單純使用牡蠣殼水泥灌模的可行性是不足的。



圖 4-3. 利用牡蠣殼水泥灌模之乾燥後觀察。

### (三) 奈米纖維素的觀察與製備

在奈米纖維素的觀察實驗中，我們分別配置 1wt%、2wt%、3wt%、5wt%、10wt% 的奈米纖維素水溶液，觀察其溶解之情形，配置情形如下圖 4-4 所示；實驗結果顯示，奈米纖維素加入水溶液中亦聚集並黏結成塊狀，須透過攪拌讓材料均勻溶解之水中。

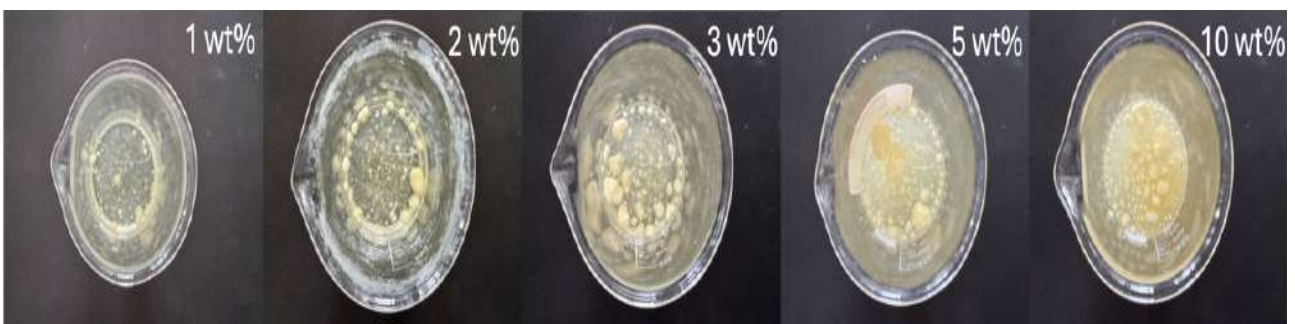


圖 4-4. 不同比例下的奈米纖維素溶於水中之俯視觀察。

經攪拌 5 分鐘後，觀察 1wt%、2wt%、3wt%、5wt%、10wt%的奈米纖維素水溶液的溶解情形，如下圖 4-5 所示；實驗結果顯示，1wt%的奈米纖維素水溶液已達完全溶解，2wt%以上之水溶液仍可見塊狀之奈米纖維素於水溶液中，而 10wt%奈米纖維素水溶液則有較多明顯之塊狀物。

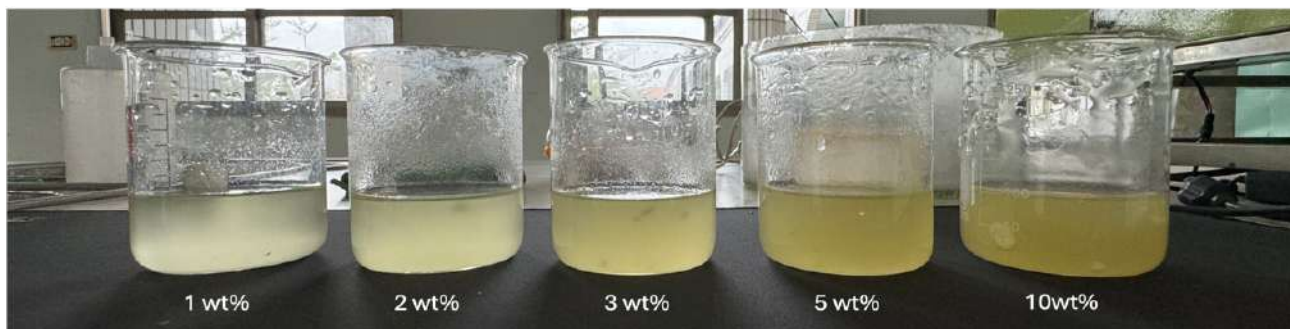


圖 4-5.不同比例下的奈米纖維素溶於水中攪拌五分鐘後之側視觀察。

將攪拌完全之水溶液倒置膠模並靜置至乾燥後觀察，結果如下圖 4-6 所示；結果顯示隨著奈米纖維素水溶液的濃度增加，其顏色越接近深黃色，且狀態接近膠體狀態，5wt%與 10wt%可觀察到膠體凝結並些微脫落的情形；而 1wt%~3wt%的奈米纖維素水溶液則呈現水體狀態，可明顯觀察到流動性較佳，無凝結狀態。考慮灌模所需之流動性與黏著性，因此採用 1wt%~3wt%往下作為牡蠣殼水泥黏著劑之參數試驗。



圖 4-6.不同比例下的奈米纖維素灌模乾燥後之觀察。

#### (四) 利用牡蠣殼水泥與奈米纖維素灌模

在利用奈米纖維素作為黏著劑的實驗中，我們分別配置 1wt%、2wt%、3wt%的牡蠣殼水泥並灌至培養皿中，觀察其乾燥後的碎裂程度，如下圖 4-7 所示；根據實驗結果顯示，隨著奈米纖維素的比增加，乾燥後的碎裂程度可觀察到明顯減少，說明奈米纖維素可用來作為牡蠣殼水泥間之黏著劑材料。



圖 4-7.不同比例的奈米纖維素結合牡蠣殼水泥灌模乾燥後之情形。

#### (五) 比較不同類型的黏著劑

我們選用常見的食品添加劑（奈米纖維素、甲基纖維素、海藻膠、玉米澱粉）以 3wt% 的比例與牡蠣殼水泥進行灌模實驗，觀察其乾燥後的情形，如下圖 4-8 所示；根據實驗結果顯示，利用甲基纖維素與海藻膠作為黏著劑的吸水膨脹較為明顯，因此在乾燥後的模具表面呈現不規則隆起狀態，且以手按壓呈現彈性體的狀態。以奈米纖維素與玉米澱粉作為黏稠劑的材料均勻度與分散性佳，易於填充，但乾燥後略呈現縮小與部分碎裂之現象。

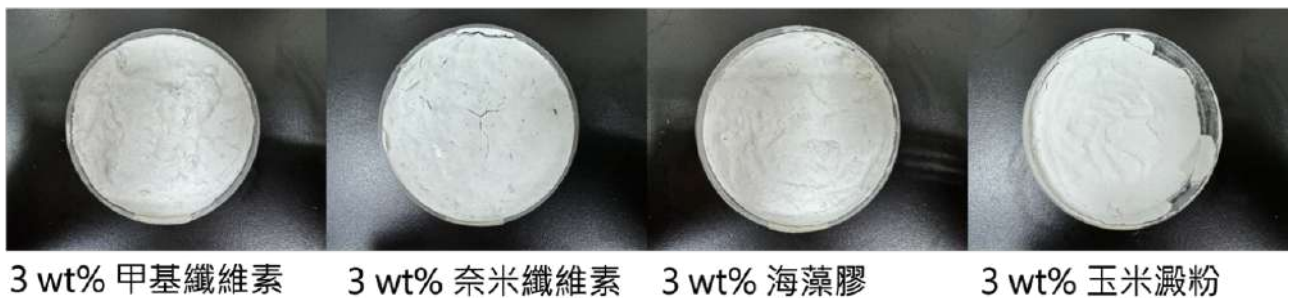


圖 4-8.不同種類的黏稠劑結合牡蠣殼水泥灌模乾燥後之情形。

#### (六) 功能性材料灌模測試

在灌模測試實驗中，我們選用不同材料以不同比例結合牡蠣殼水泥並觀察其乾燥後的情形，如下圖 4-9 所示；根據實驗結果顯示，比較如下：

1. 根據樣品 1、樣品 2 實驗結果顯示，纖維素的添加有助於提高矽藻土與牡蠣殼水泥之間的黏著力。
2. 根據樣品 2、樣品 3 實驗結果顯示，隨著矽藻土的添加量提升，成品外觀顏色較白且表面坑洞情形略微增加。
3. 根據樣品 2、樣品 4 實驗結果顯示，菱殼炭的添加使材料顏色分佈不均，但材料表面較為平整。

4. 根據樣品 4、樣品 5 實驗結果顯示，碳酸鈣的添加使材料使材料顏色較為均勻，表面坑洞略顯較多。
5. 根據樣品 4、樣品 6 實驗結果顯示，纖維素可作為純菱殼炭的黏著劑，但比例不足導致碳材乾燥後有明顯龜裂的情形。



組成	樣品1	樣品2	樣品3	樣品4	樣品5	樣品6
牡蠣殼水泥	3	3	3	3	3	
纖維素		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
菱殼炭				0.5	0.5	3
矽藻土	1	1	3			
碳酸鈣					1	

圖 4-9.不同材料結合牡蠣殼水泥灌模乾燥後之情形。

## 二、 應用實驗

### (一) 硬度觀察

在硬度觀察實驗中，我們隨機抽樣三塊大小接近之塊狀成品，置於硬度計測量其硬度值並記錄之，實驗結果顯示如下表 4-1 所示；隨著奈米纖維素的含量增加，其耐受壓力亦呈現上升的趨勢，當採用 3wt%的玉米澱粉作為黏著劑時具有最大硬度偵測值，其平均硬度值為 5.33 kg。然而，當採用 3wt%的甲基纖維素與 3wt%的海藻膠作為黏著劑時，成品具有彈性可耐壓不易碎裂之特性，其耐受壓力超過儀器之偵測極限，其比較觀察圖如下圖 4-10 所示；

表 4-1.不同比例與種類的黏著劑結合牡蠣殼水泥灌模乾燥後之硬度值觀察。

組成	硬度值 ( kg )			平均硬度值 ( kg )
	第一次	第二次	第三次	
材質A 牡蠣殼水泥	2.082	1.910	2.308	2.100
材質B 牡蠣殼水泥 1wt%奈米纖維素	2.367	2.108	2.353	2.276
材質C 牡蠣殼水泥 2wt%奈米纖維素	2.720	2.882	2.168	2.590
材質D 牡蠣殼水泥 3wt%奈米纖維素	2.818	2.956	2.661	2.812
材質E 牡蠣殼水泥 3wt%玉米澱粉	5.556	5.308	5.125	5.330
材質F 牡蠣殼水泥 3wt%甲基纖維素	-	-	-	-
材質G 牡蠣殼水泥 3wt%海藻膠	-	-	-	-

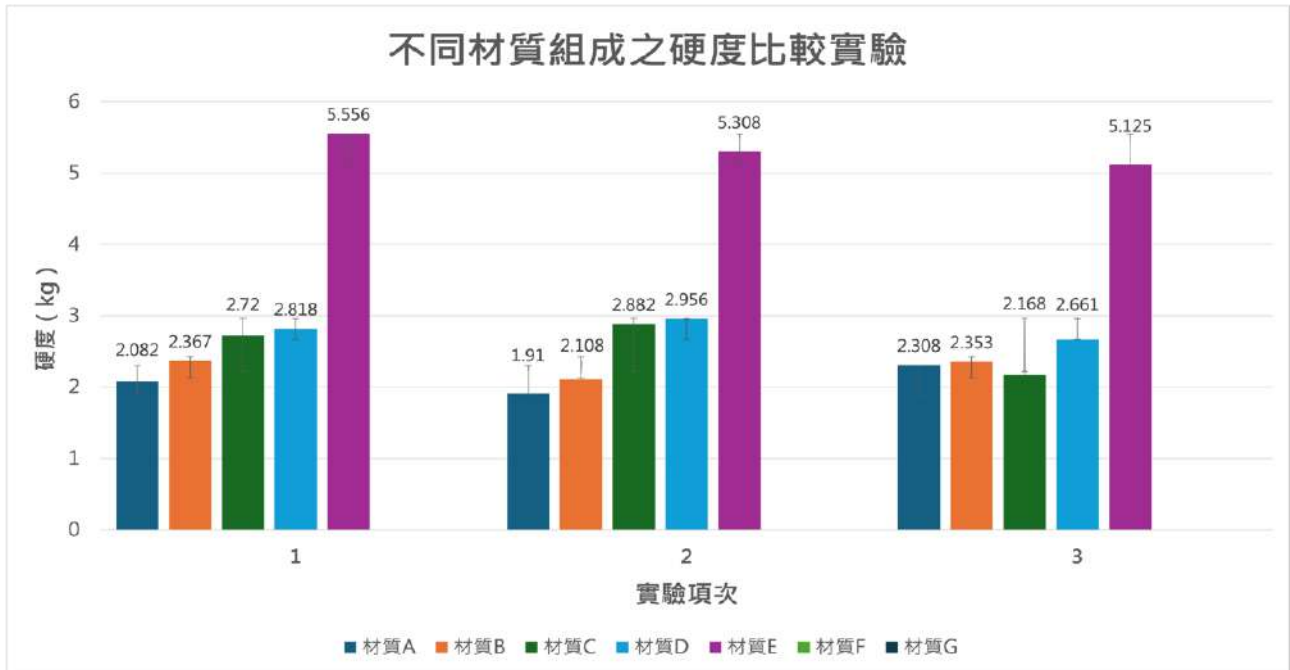


圖 4-10. 不同比例與種類的黏著劑結合牡蠣殼水泥灌模乾燥後之硬度值觀察實驗。

在不同組成的成品乾燥後之硬度值觀察實驗中，結果顯示如下表 4-2 所示；根據實驗結果顯示，比較如下：

1. 根據樣品 2、樣品 3 實驗結果顯示，隨著矽藻土的添加量提升，其硬度值有下降之趨勢，說明矽藻土的添加會減少成品結構上的耐受壓力。
2. 根據樣品 2、樣品 4 實驗結果顯示，菱殼炭與矽藻土性質相當，輕質無黏性的功能性添加材料，無法增加成品結構上的耐受壓力。
3. 根據樣品 4、樣品 5 實驗結果顯示，添加部分未斷燒前的牡蠣殼粉末（碳酸鈣材料）作為骨料結構有助於提升成品在耐受壓力上的表現，合理推測來自於碳酸鈣材料本身具有較硬的材料特性。
4. 根據樣品 4、樣品 6 實驗結果顯示，菱殼炭結合奈米纖維素製作的成品雖可測到較大的硬度值，但特性接近彈性體，不適用於作為灌模過程中的主材料結構，仍須有牡蠣殼水泥作為材料硬化與結構支撐的主要原料。

根據不同組成的成品乾燥後之硬度值觀察實驗，其比較觀察趨勢如下圖 4-11 所示：

表 4-2.不同組成的成品乾燥後之硬度值觀察

組成	硬度值 ( kg )			平均硬度值 ( kg )
	第一次	第二次	第三次	
樣品2 牡蠣殼水泥*3 纖維素*0.5 矽藻土*1	1.151	0.958	1.330	1.146
樣品3 牡蠣殼水泥*3 纖維素*0.5 矽藻土*3	0.908	0.772	0.769	0.816
樣品4 牡蠣殼水泥*3 纖維素*0.5 菱殼炭*0.5	1.216	1.011	1.152	1.126
樣品5 牡蠣殼水泥*3 纖維素*0.5 菱殼炭*0.5 碳酸鈣*1	5.185	4.346	4.884	4.805
樣品6 纖維素*0.5 菱殼炭*3	4.695	4.578	4.276	4.516

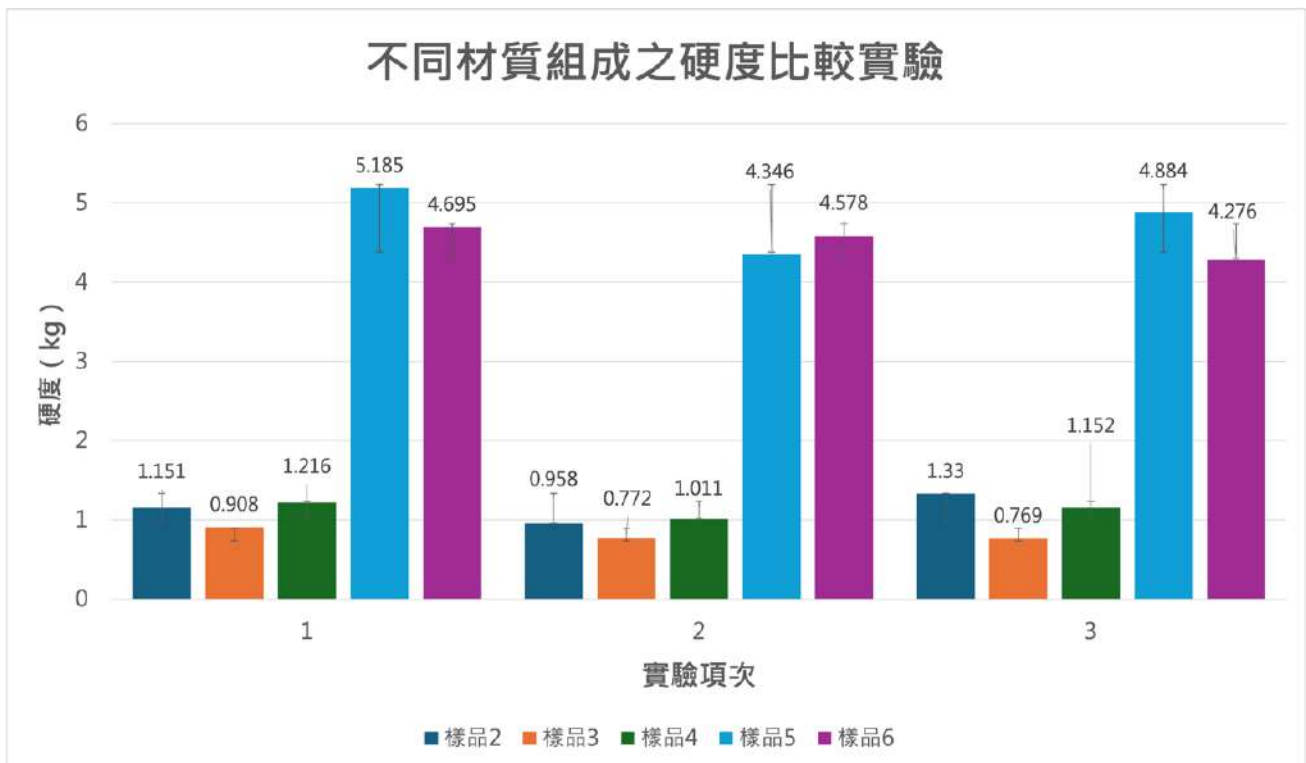


圖 4-11. 不同組成的成品乾燥後之硬度值觀察實驗

## (二) 透水性觀察

在透水性觀察實驗中，我們隨機取三個成品位置並滴入 1 滴水，觀察水滴從表面到完全滲透所需要的時間並記錄之，實驗結果顯示如下表 4-3 所示；根據實驗結果顯示，不同種類的黏著劑添加會增加水滴從表面到完全滲透所需的時間，顯示黏著劑雖然可扮演材料間的黏著角色，同時也會減少材料間的孔隙現象。隨著奈米纖維素的比例添加提高，我們觀察水滴完



全滲透所需要的時間趨勢為 3wt%奈米纖維素>2wt%奈米纖維素≒1wt%奈米纖維素≒無添加奈米纖維素；在不同種類黏著劑添加實驗中，我們觀察到水滴完全滲透所需要的時間趨勢為甲基纖維素>奈米纖維素>海藻膠>玉米澱粉，其中 3wt%玉米澱粉作為黏著劑不僅可達到材料間的黏著效果，其透水性的表現亦最接近原牡蠣殼水泥的狀態，其比較觀察趨勢如下圖 4-12 所示：

表 4-3.不同比例與種類的黏著劑結合牡蠣殼水泥灌模乾燥後之透水性觀察。

組成	時間 ( sec )			平均時間 ( sec )
	第一次	第二次	第三次	
材質A 牡蠣殼水泥	1.54	0.81	0.64	1.00
材質B 牡蠣殼水泥 1wt%奈米纖維素	1.26	1.13	1.06	1.15
材質C 牡蠣殼水泥 2wt%奈米纖維素	1.03	1.01	1.1	1.05
材質D 牡蠣殼水泥 3wt%奈米纖維素	1.48	1.43	1.56	1.49
材質E 牡蠣殼水泥 3wt%玉米澱粉	1.08	1.03	1.04	1.05
材質F 牡蠣殼水泥 3wt%甲基纖維素	1.99	3.43	2.1	2.51
材質G 牡蠣殼水泥 3wt%海藻膠	1.00	1.36	1.38	1.25

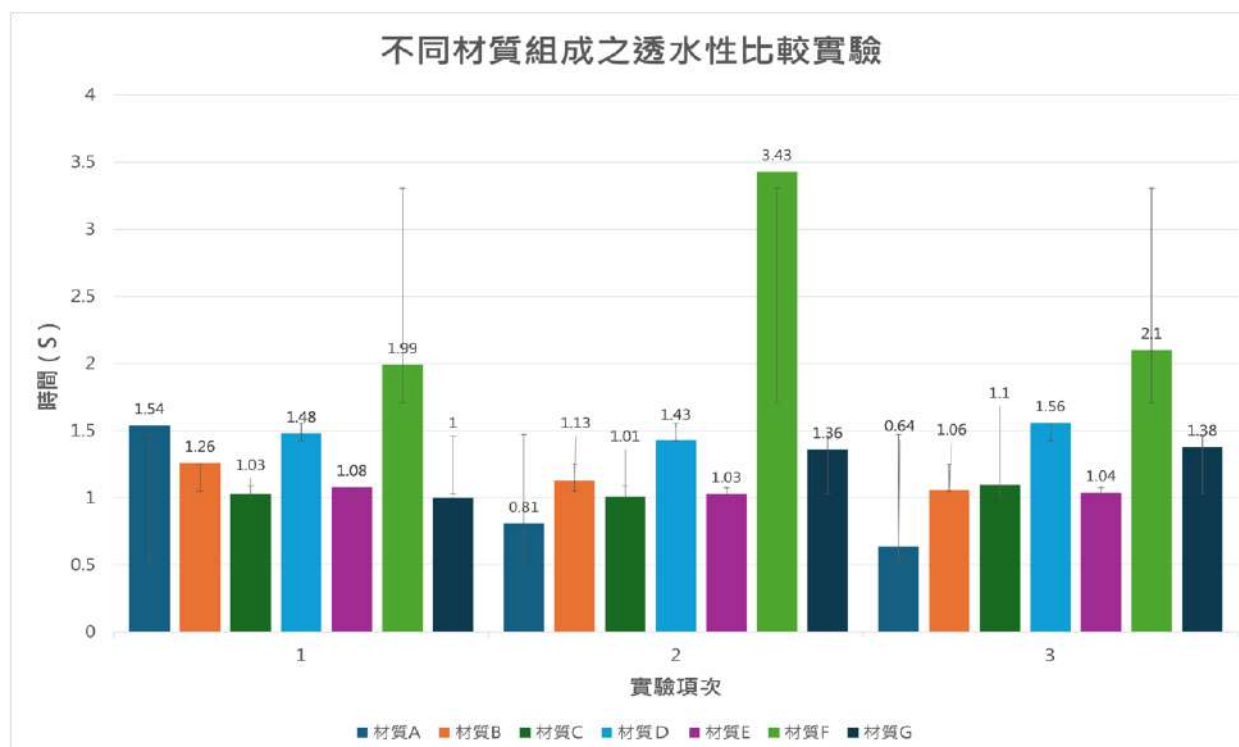


圖 4-12. 不同比例與種類的黏著劑結合牡蠣殼水泥灌模乾燥後之透水性觀察趨勢。

在不同組成的成品乾燥後之透水性觀察實驗中，實驗結果顯示如下表 4-4 所示；根據實驗結果顯示，比較如下：

1. 根據樣品 2、樣品 3 實驗結果顯示，隨著矽藻土的含量增加，其滲透時間從 8.08 秒縮短至 3.24 秒，顯示矽藻土的含量增加有助於成品材料在透水性的提升。
2. 根據樣品 4、樣品 5 實驗結果顯示，水滴在經過 30 秒後仍處於成品表面，尚未滲透完全；樣品 6 的平均滲透時間為 26.72 秒，顯示生物炭的孔隙特性有助於水分的滲透；近一步計算在本實驗中所採用的體積比例，換算奈米纖維素的重量百分比約為 5wt%，合理推測採用奈米纖維素作為黏著劑會影響成品材質的透水性所導致，其比較觀察趨勢如下圖 4-13 所示：

表 4-4.不同組成的成品乾燥後之透水性觀察

組成	時間 ( sec )			平均時間 ( sec )
	第一次	第二次	第三次	
樣品2 牡蠣殼水泥*3 纖維素*0.5 矽藻土*1	9.75	8.3	6.18	8.08
樣品3 牡蠣殼水泥*3 纖維素*0.5 矽藻土*3	3.53	2.34	3.86	3.24
樣品4 牡蠣殼水泥*3 纖維素*0.5 菱殼炭*0.5	> 30	> 30	> 30	> 30
樣品5 牡蠣殼水泥*3 纖維素*0.5 菱殼炭*0.5 碳酸鈣*1	> 30	> 30	> 30	> 30
樣品6 纖維素*0.5 菱殼炭*3	26.55	25.7	27.9	26.72

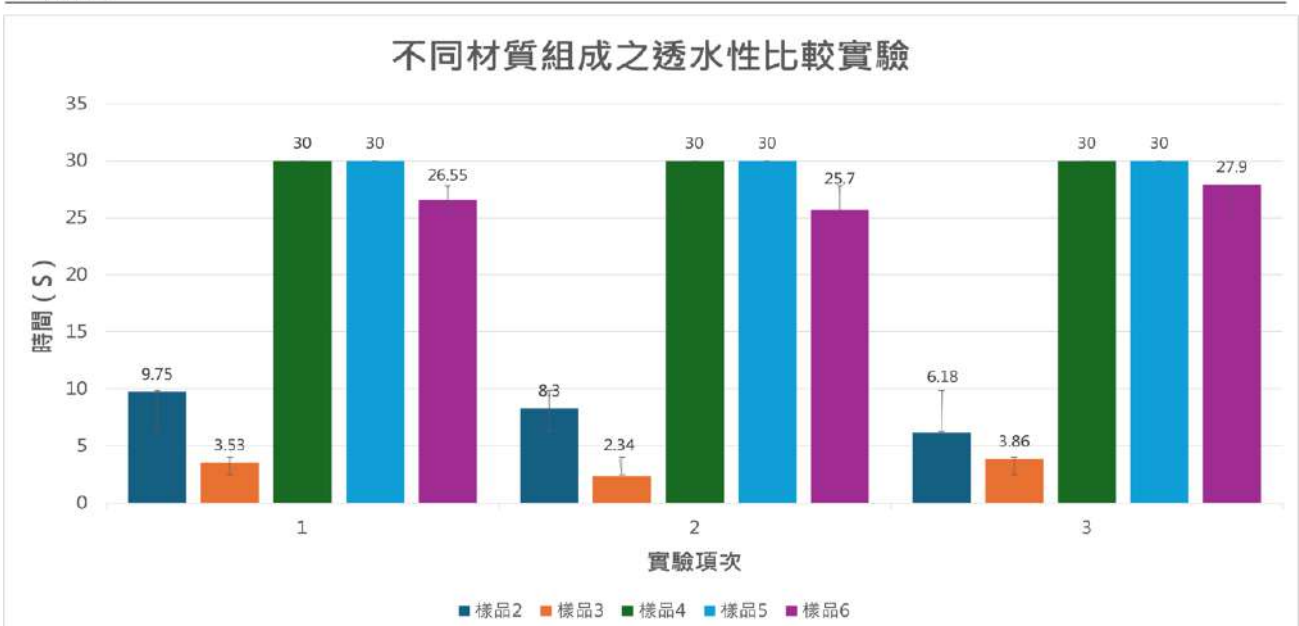


圖 4-13. 不同組成的成品乾燥後之透水性觀察趨勢。

在延伸性比較實驗中，我們以最佳化條件 3wt%玉米澱粉作為黏著劑、3wt%菱殼炭作為功能性透水材料，比較與市售水泥的硬度值與透水性差異，硬度實驗方面，我們比較以半徑 0.75cm 的圓面積下的材料最大受力值，觀察到採本實驗最佳化條件所合成之循環綠建材與市售水泥硬度值均超過儀器測量上限（6 kg/0.56 cm<sup>2</sup>），需要耐壓程度更高的儀器進一步比較之間的差異，同時結果也顯示最佳化條件所合成之循環綠建材具有一定程度上的耐受壓力，如下表 4-5 所示：

表 4-5. 不同組成的成品乾燥後之硬度值觀察

組成	硬度值 ( kg )		
	第一次	第二次	第三次
材質A 純水泥	超過測量上限	超過測量上限	超過測量上限
材質B 牡蠣殼水泥 3wt% 玉米澱粉	超過測量上限	超過測量上限	超過測量上限
材質C 牡蠣殼水泥 3wt% 玉米澱粉 3wt% 菱殼炭	超過測量上限	超過測量上限	超過測量上限

備註：儀器偵測極限值：6 kg/0.56 cm<sup>2</sup>。在半徑0.75cm的圓面積下所能承載的負重上限為6kg。在此以“超過測量上限”表示。

透水性實驗中，不同組成的成品乾燥透水性觀察時間如下表 4-6 所示，結果顯示牡蠣殼水泥結合 3wt%玉米澱粉作為黏著劑所製作的循環材料與市售水泥的透水性相當；而 3wt%菱殼炭的添加作為透水性功能材料能有效的提升合成材料的透水特性，平均透水時間從 7.18 秒縮短至 4.85 秒，相當適合用於透水鋪面之應用，其比較觀察趨勢如下圖 4-14 所示：

表 4-6.不同組成的成品乾燥後之透水性觀察

組成	時間 ( sec )					平均時間 ( sec )
	1st	2nd	3rd	4th	5th	
材質A 純水泥	8.55	5.78	6.95	8.26	7.65	7.44
材質B 牡蠣殼水泥 3wt% 玉米澱粉	7.61	6.73	6.68	7.63	7.26	7.18
材質C 牡蠣殼水泥 3wt% 玉米澱粉 3wt% 菱殼炭	5.11	4.51	4.01	5.73	4.91	4.85

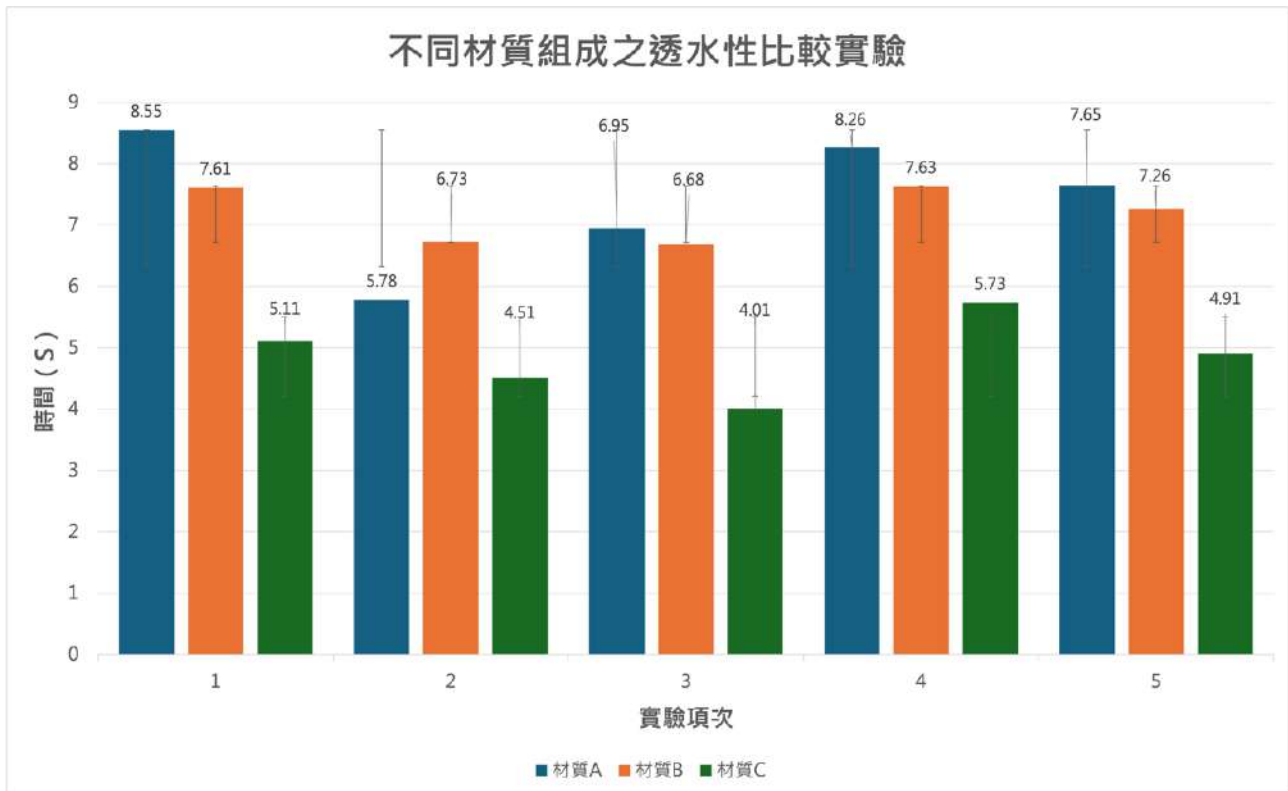


圖 4-14. 不同組成的成品乾燥後之透水性觀察趨勢。

## 伍、 討論

在本實驗中，我們找出漁業廢棄物-牡蠣殼與農業廢棄物-菱角殼的再利用可行性；從解決漁業廢棄物的觀點出發，根據台灣水泥的碳足跡研究報告指出，每採用 1 公斤的水泥材料相當於產生 1 公斤的二氧化碳 (CO<sub>2</sub>) 排放量；因此，當採用煨燒後牡蠣殼粉所配置的牡蠣殼水泥作為建築材料來取代高碳排開採下的水泥材料時，可理解為**每取代 1 公斤的水泥開採使用即可減少 1 公斤的二氧化碳排放量**。

生物炭具有高穩定性且不易分解的特性，可存續在人們生活的陸地系統中長達 3-5 個世紀之久；同時，**每採用 1 公斤的生物炭相當於可固定 2.93 公斤的二氧化碳排放量**於陸地系統，避免再回到大氣中。然而，牡蠣殼水泥與菱殼生物炭之間存在無機物-有機物間的材料關係，因此需要透過黏著劑來增強材料間的接著性。

根據本實驗結果顯示，3wt% 奈米纖維素添加牡蠣殼水泥具有最佳的流動性與黏著性，同時成品材料之耐受壓力從 2.10 公斤增加至 2.81 公斤；然而，成品材料之透水性時間從 1 秒增加至 1.49 秒。同時，我們發現 3wt% 玉米澱粉的添加可明顯增加材料之平均硬度且不影響透

**水性時間**，優於奈米纖維素的表現；甲基纖維素與海藻膠在添加後使成品材料具有彈性體之特性，材料耐受壓力與透水與時間表現均不如奈米纖維素好。

在不同種類的添加實驗中顯示，菱殼炭與矽藻土分別可用作為固碳與增加透水性之功能性材料、添加未煨燒前之牡蠣殼粉可作為提升成品硬度之添加材料、而大於 3wt%的黏著劑過量添加會導致成品材料之透水性降低，堵塞孔隙。

本研究實驗成功找出透過日常生活中常見的食品添加劑作為材料黏著劑來達到**以分子料理的概念結合食品科學走向友善環境的生產**，兼具友善環境與永續生活的「淨零碳排」目標！

## 陸、 結論

- 一、根據牡蠣殼水泥製備的實驗結果顯示，牡蠣殼水泥**最佳攪拌配置時間為 50 分鐘**，**氧化鈣與水之最佳比例為 1:2 時具有最佳之填充流動性**。
- 二、單純牡蠣殼水泥灌模乾燥後可明顯觀察到碎裂之情形，顯示材料間的黏著效果不足所導致。
- 三、奈米纖維素的觀察與製備實驗結果顯示，1wt%~3wt%的奈米纖維素具有灌模所需的較佳流動性與黏著性；然而隨著黏著劑的濃度增加，其乾燥脫模後的碎裂程度則隨之減少。
- 四、在不同黏著劑的添加實驗中結果顯示，甲基纖維素與海藻膠吸水後膨脹，使成品材料具有彈性的特性，表面不平整及耐受壓力不穩；**奈米纖維素與玉米澱粉則具有較佳之均勻度與分散性，適合作為牡蠣殼水泥與其它材料間的黏著劑使用**。
- 五、功能性材料添加的灌模實驗結果顯示，纖維素的添加有助於功能性材料與牡蠣殼水泥間的黏著性；矽藻土（白）與菱殼炭（黑）的添加可用來調整成品顏色明暗，未煨燒前的牡蠣殼材料（碳酸鈣）添加會使成品表面呈現較為粗糙的狀態。
- 六、硬度實驗結果顯示，隨著奈米纖維素的含量增加，其硬度亦呈現增加的趨勢，當採用 3wt%的玉米澱粉作為黏著劑時具有**最大硬度偵測值**，其平均硬度值為 5.33 kg；而矽藻土的添加會減少成品結構的耐受壓力，反之添加未煨燒前的牡蠣殼材料（碳酸鈣）則會增加成品結構的耐受壓力。

- 七、透水性時間觀察結果顯示，黏著劑雖然可扮演材料間的黏著角色，同時也會減少材料間的孔隙現象，2wt%奈米纖維素與 3wt%玉米澱粉具有較佳的透水性時間表現。
- 八、延伸性實驗結果顯示，以 3wt%玉米澱粉作為黏著劑結合牡蠣殼水泥具有與市售水泥相當的耐受壓力；同時，以 3wt%菱殼炭作為功能性材料，能有效的提升材料於透水上特性。
- 九、本研究成功結合農業循環材料-菱殼炭與漁業循環材料-牡蠣殼水泥，以食品科學的方式找出取代市售高碳排水泥的科學研究，不僅在地方農、漁廢的再利用領域上找出一條新出路，同時在大規模導入使用之際，亦能帶出規模化之減碳（採用牡蠣殼水泥）與固碳（採用菱殼炭）效益，實現「綠色化學」與「環境永續」的生活目標，作為面向「2050 淨零碳排」重要的思考方式之一！

## 柒、 參考文獻資料

### 一、 研究報告

- (一) 林志勇；胡乾璋；陳郁晴（2021）廢材變烏金-各式農業廢棄物生物炭吸附性質之探討。中華民國第 61 屆中小學科學展覽會。
- (二) 曹宇寬；周品儀；陳柔蓁（2022）炭鎖生活-永續循環的淨水除濕材。中華民國第 62 屆中小學科學展覽會。
- (三) 林秀米；胡妍仔；陳皓洋（2023）菱炭（零碳）生活-永續淨零的綠建材。中華民國第 63 屆中小學科學展覽會。

### 二、 網路資料

- (一) 曾勝茂；（2020）奈米纖維素的新發展。科學發展，572 期。
- (二) 林鴻儒；（2018）神奇的膠水。科學發展，542 期。
- (三) 李國基；（2021）農業資源循環利用，點廢成金產業創新。農政視野。
- (四) 楊秋忠；（2023）全球減碳排的基盤，有機廢棄物處理。豐年雜誌。
- (五) 向富實業；（2014）食品添加物使用範圍及用量標準-第 12 類-粘稠劑（糊料）。衛福部食品藥物管理局。
- (六) 林弘萍；（2023）菱殼炭循環經發展歷程。臺灣網路科教館。
- (七) 劉禹慶；（2023）澎湖牡蠣殼再進化運用 成為建築材料一環。自由時報。

### 三、 教材單元

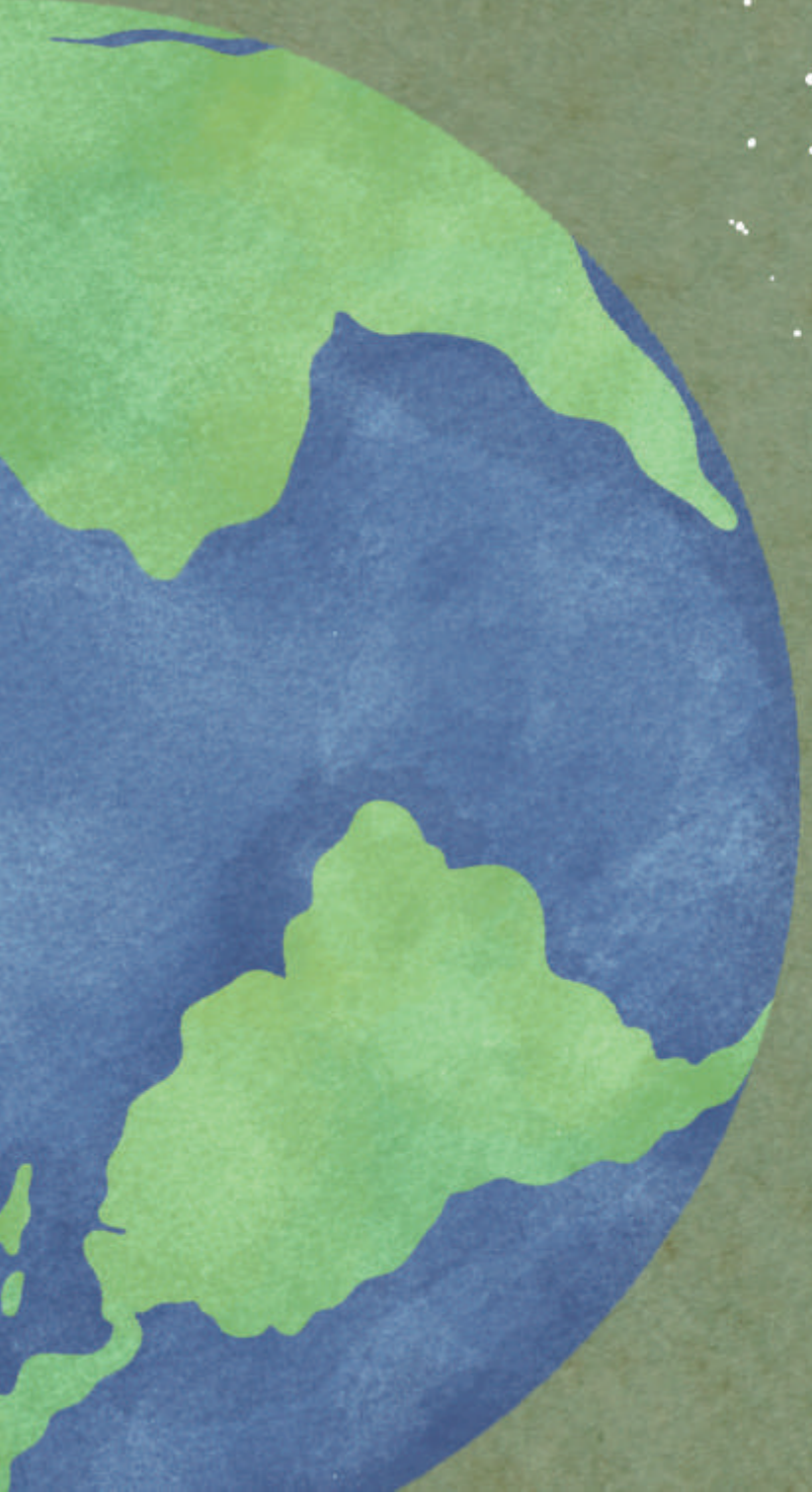
- (一) 國中理化 2 上 基本測量/認識物質/溫度與熱/探索物質組成
- (二) 國中理化 2 下 化學反應/氧化與還原/有機化合物

## 【評語】 033006

本作品以循環經濟為研究主題，資源化農漁業剩餘資材作為灰作材料使用。以混合煅燒後牡蠣殼（氧化鈣）、生物炭、食品添加劑製得牡蠣殼水泥，評估成品材料之耐受壓力與透水性。整體研究動機與目的明確，研究設計合理。建議釐清製得成品材料是作為灰作材料還是水泥使用。在循環經濟原則下，本研究可嘗試計算簡單碳足跡，作為淨零與固碳成效的分析。



## 作品簡報



# 淨菱碳排の蚶學研究

*net zero*

# 摘要

在本研究中，採用煨燒後牡蠣殼（氧化鈣）作為新循環材料用以取代傳統高碳排水泥材料達到減碳的效果，同時利用生物炭具有高穩定性且不易分解的特性添加至牡蠣殼水泥中達到固碳之目的；而牡蠣殼水泥與菱殼炭之間存在無機物-有機物的材料結核問題，透過日常生活中常見的食品添加劑作為黏著劑的實驗研究。**實驗結果顯示，攪拌時間50分鐘、氧化鈣與水為1比2是最佳製備參數；3wt%玉米澱粉作為黏著劑具有最佳的成品耐壓壓力（5.33公斤）與透水性（1.05秒）。**

本研究實驗成功找出牡蠣殼水泥製備參數與透過低毒性食品添加劑作為材料黏著劑來達到以「分子料理」的概念結合食品科學走向「友善環境」的生產兼具減碳及固碳的效果，實現全球「2050淨零碳排」之目標！

## 研究動機

### 一.農、漁業剩餘資材

根據農業部資料指出，台灣的農業每年產出約五百萬公噸的農業剩餘資材，其分佈與種類如下圖一所示，主要剩餘資材產生量以農業（49.40%）、畜牧業（46.99%）及漁業（2.32%）為前三大佔比，傳統的處理方式用以製成堆肥方式使用回歸生態，然而從循環經濟觀點思考，不同生物資材間存在不同組成、特性與再利用價值，單純以堆肥方式統一處理並未能有效運用該資源。倘若能找出友善環境的處理方式及對應新的再利用方式，傳統在處理令人困擾的剩餘資材上將有不同的全新面貌，也將會是化危機為轉機的新契機。

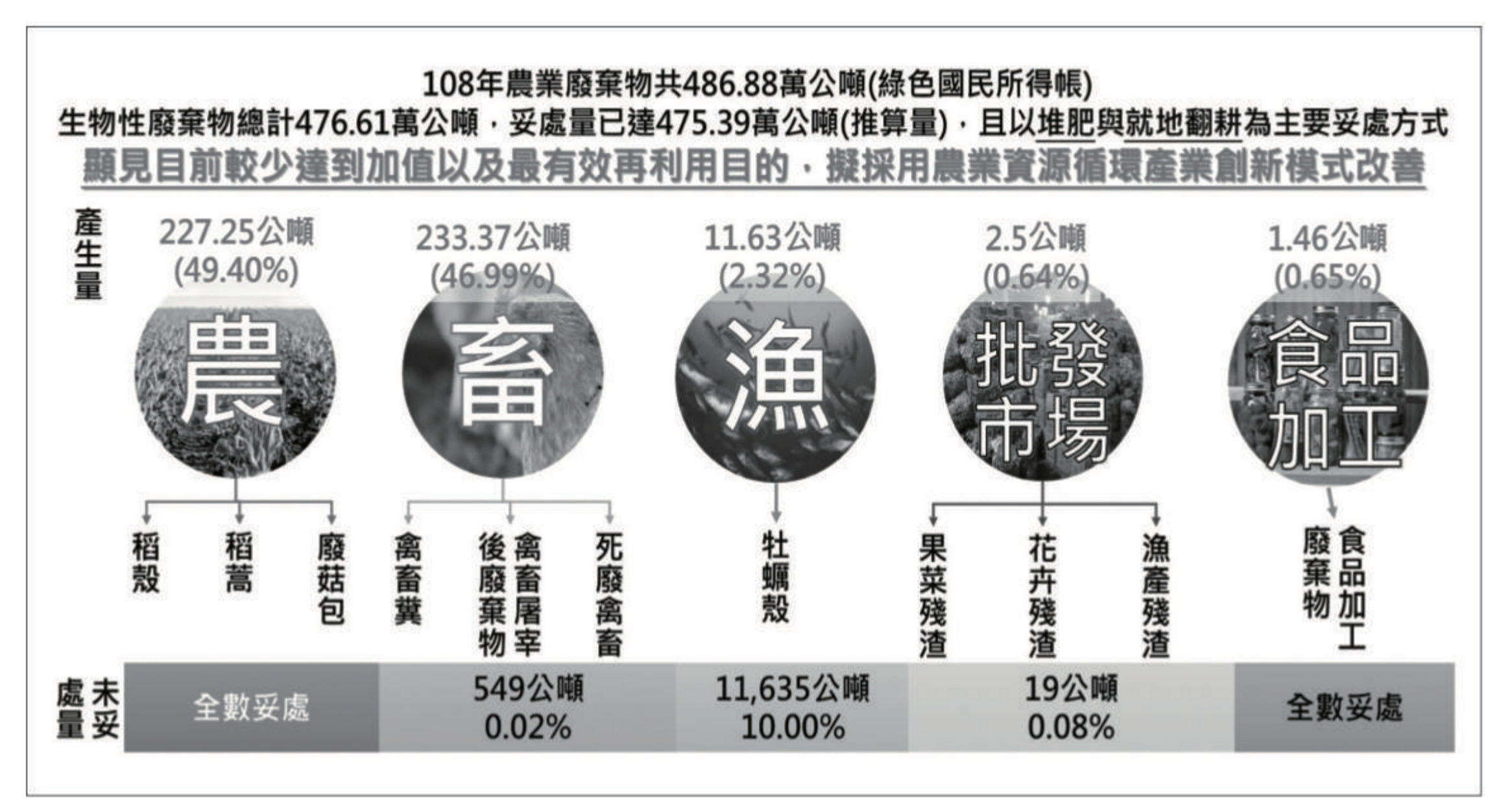


圖1.臺灣同業廢棄物種類分佈現況。(資料來源：主計處(2020)，108年綠色國民所得帳-農業廢棄物排放帳)

### 二.淨零碳排 (Net Zero Emissions)

根據綠色和平 (GREENPEACE) 資料指出，淨零碳排 (Net Zero Emissions) 指的是在特定一段時間內，全球人為排放的溫室氣體量和人為移除的量相抵銷後，使其結果為零。也就是說，淨零不代表完全不排放，而是以極大程度減少人為造成的溫室氣體排放。淨零碳排的核心目標，就是阻止地球持續升溫。於此，回到地方我們是否也能思考透過科學研究的方式來減少地方在從事農業生產與經濟活動過程中所產生的碳排放。

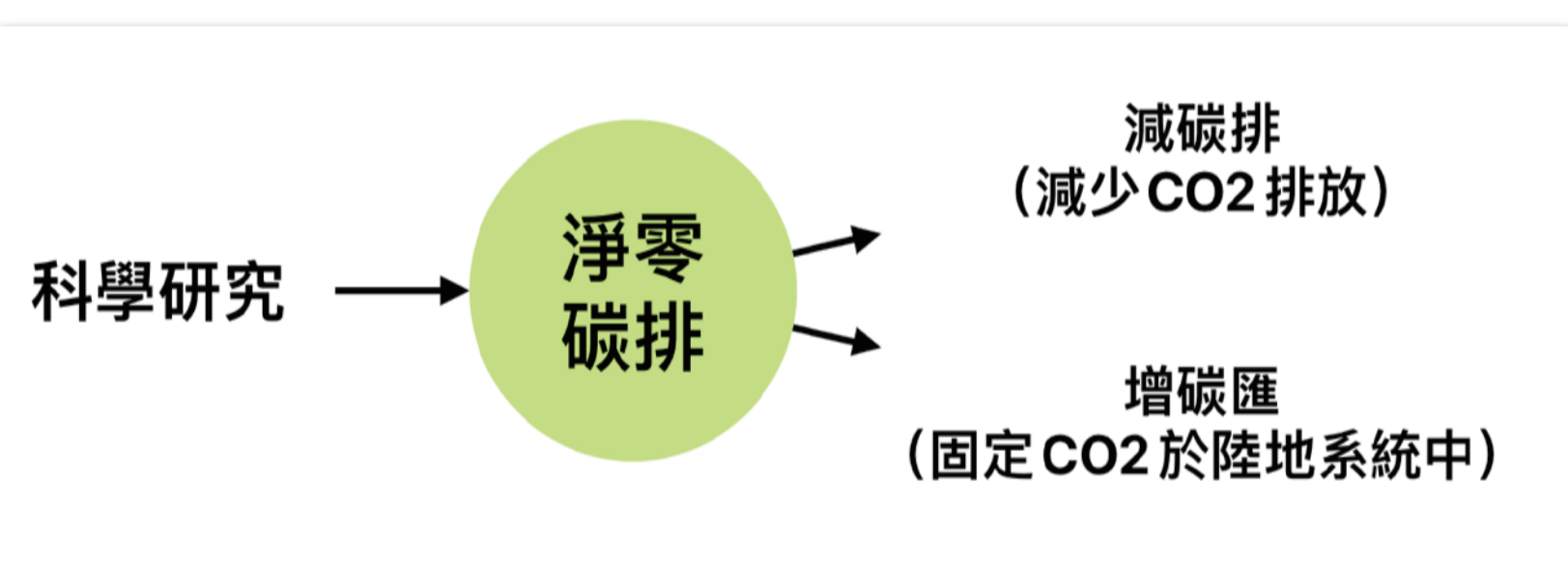


圖2.透過科學研究以「淨零碳排」為目標的思考模式 (資料來源：出自於指導老師所繪製)



圖3.循環經濟思維圖 (資料來源：出自於循環台灣基金會)

### 三.循環經濟

「循環經濟」是一套資源可回復、可再生的經濟和產業的系統。相較於傳統線性經濟「開採-製造-消費-拋棄」的模式，循環經濟採用「製造-使用-循環」的模式，透過重新設計、商業模式、提升能資源效率，從源頭避免污染與廢棄物的產生，使用更少資源來創造更多價值。

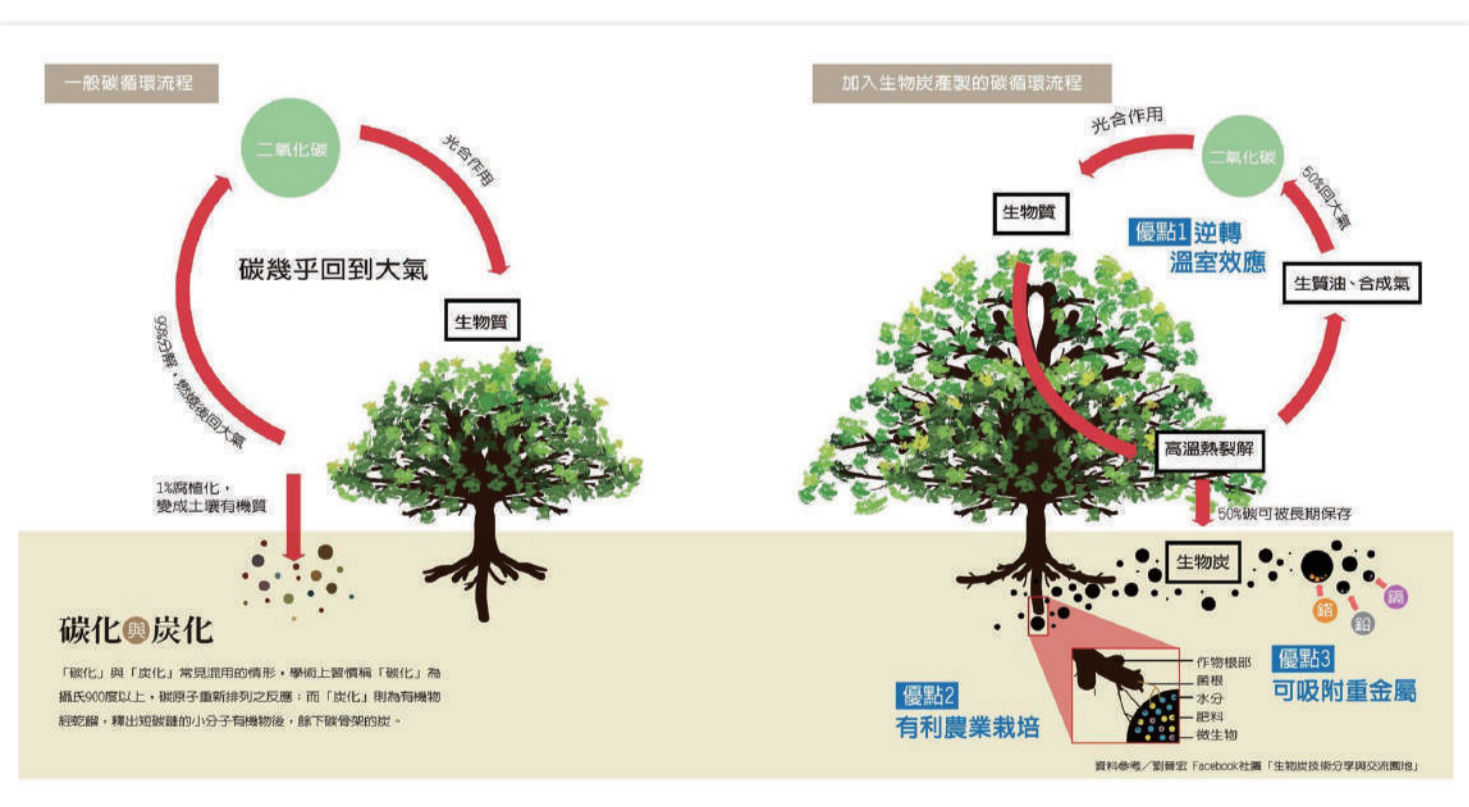


圖4.生物炭產製的碳循環流程 (資料來源：出自於農業部)



圖5.台糖牡蠣殼碳酸鈣生技材料廠針對牡蠣殼的多元價值開發及應用。(資料來源：出自於台糖公司)

從農業剩餘資材的觀點出發，我們發現將生物資材透過高溫、低氧的熱裂解反應轉變成生物炭，不僅可減少剩餘資材因棄置焚燒所帶來的空氣污染與碳排放問題，亦可將大氣中之CO<sub>2</sub>固定於陸地系統中，同時扮演環境復育的循環材料。

從漁業剩餘資材的觀點出發，我們發現台糖公司投入「牡蠣殼循環利用」計畫，將原丟棄之牡蠣殼回收煨燒為碳酸鈣原料加工，供應飼料廠和農場的碳酸鈣自用需求，並為國內製造飼料與肥料提供碳酸鈣料源，取代進口材料；同時我們亦發現，牡蠣殼經高溫煨燒下所產生的石灰是古代用來作為修復古蹟的重要材料，有別於現今建築常用的高碳排水泥材料。

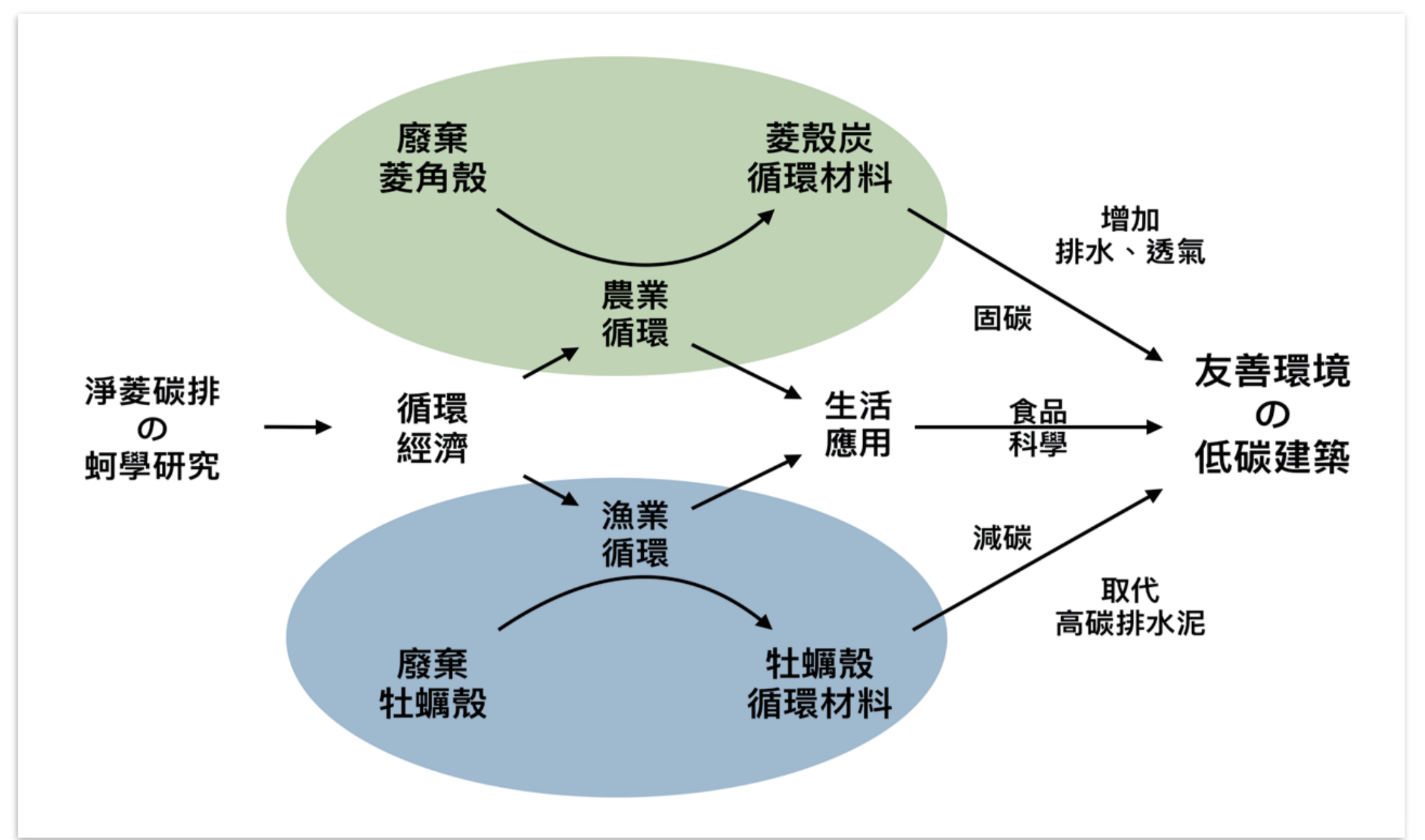


圖6.淨零碳排的科學研究思維路徑圖 (資料來源：出自於指導老師所繪製)

## 目的

- 利用農漁循環材料製作低碳建築材料
- 觀察並找出牡蠣殼水泥的製備方式
- 找出適合的食品添加劑作為黏著劑
- 以菱殼炭添加作為固碳材料的建材
- 應用實驗
- 硬度實驗測試
- 透水性實驗測試

## 研究設備及器材

### 1.化學藥品

牡蠣殼粉 (活化) CaO	奈米纖維素 (C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>n</sub>	甲基纖維素 C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> O <sub>2</sub> (OH) <sub>x</sub> (OCH <sub>3</sub> ) <sub>y</sub>	玉米澱粉 (C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>n</sub>
海藻膠 C <sub>5</sub> H <sub>7</sub> O <sub>4</sub> COONa	菱殼炭粉 C	矽藻土 SiO <sub>2</sub>	

(資料來源：出自於指導老師所繪製)

### 2.分析儀器

儀器名稱	型號	圖片	用途
錠劑硬度計	HslangTai Model:TH-1		測試合成材料的耐壓壓力

(資料來源：出自於祥泰精機股份有限公司官網)

### 3.實驗器材

勺子	刮勺	培養皿 9cm	燒杯 50mL	燒杯 500mL
滴管	電子秤	打蛋機	膠模	

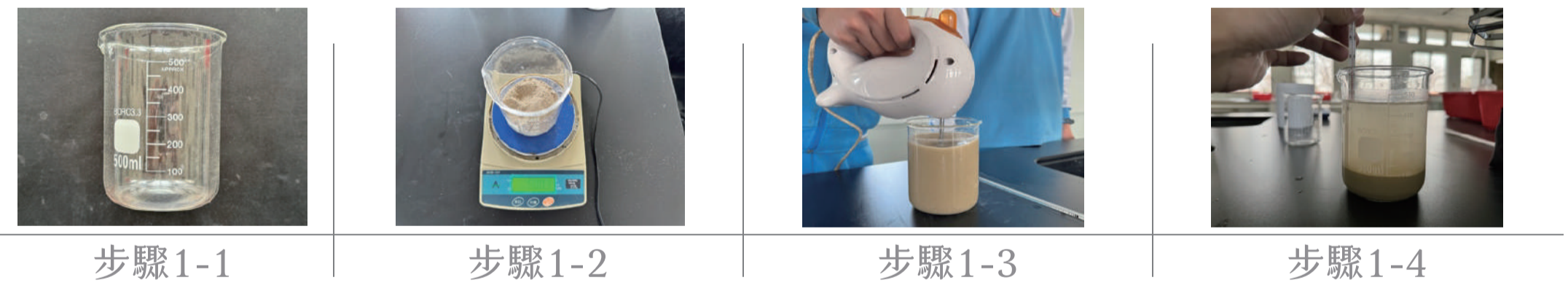
(資料來源：出自於指導老師所繪製)

## 研究過程或方法

### 一.利用農漁循環材料製作低碳建築材料

#### ① 牡蠣殼水泥製備與觀察

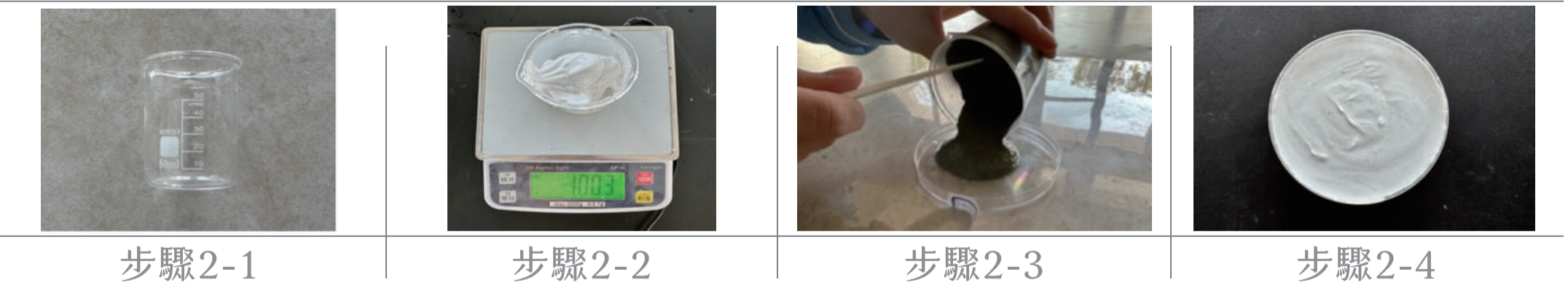
- 準備1個500 mL燒杯。
- 取不同重量比(1:1.5/1:2/1:4/1:9)之牡蠣殼粉與水至燒杯中。
- 持續攪拌並觀察溫度變化
- 停止攪拌紀錄溫度



(資料來源：出自於指導老師所繪製)

#### ② 利用牡蠣殼水泥灌模

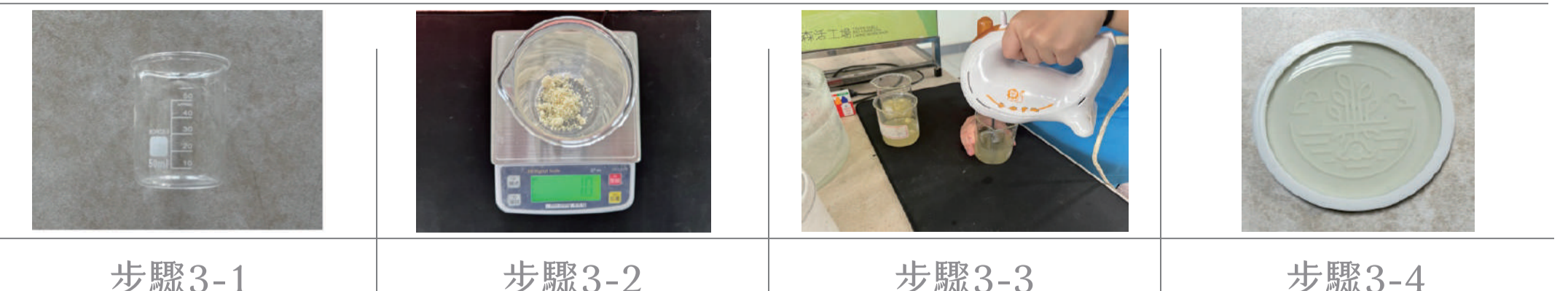
- 準備1個50 mL燒杯。
- 秤取定量之牡蠣殼水泥至燒杯中。
- 均勻攪拌後填充至培養皿中
- 靜置並等待乾燥



(資料來源：出自於指導老師所繪製)

#### ③ 奈米纖維素的觀察與製備

- 準備1個50 mL燒杯。
- 取不同重量比(1wt%、2wt%、3wt%、5wt%、10wt%)之奈米纖維素與水至燒杯中。
- 持續攪拌至均勻溶解
- 填充至膠模並等待乾燥



(資料來源：出自於指導老師所繪製)

#### ④ 利用牡蠣殼水泥與奈米纖維素灌模

- 準備1個塑膠容器。
- 取不同重量比(1wt%、2wt%、3wt%)之奈米纖維素與牡蠣殼水泥至燒杯中。
- 持續攪拌至均勻溶解
- 填充至培養皿並等待乾燥



(資料來源：出自於指導老師所繪製)

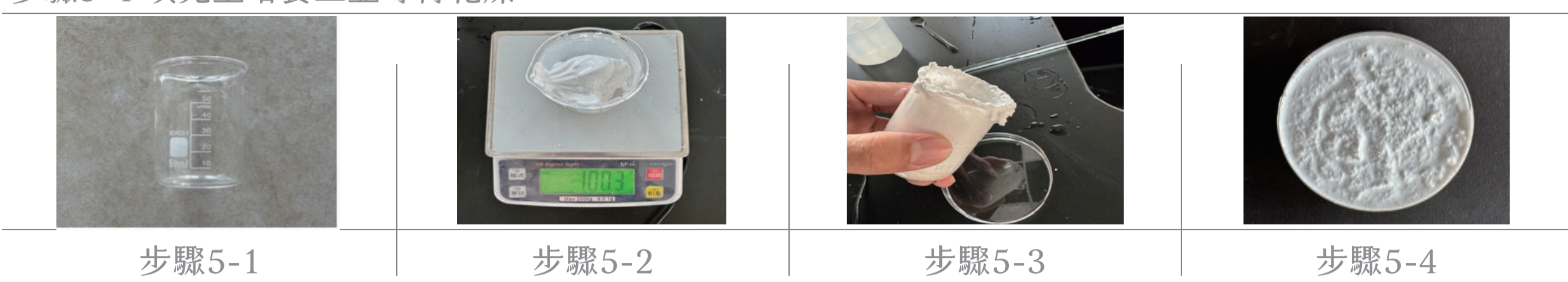
### ⑤ 比較不同類型的黏著劑

步驟5-1 準備1個50 mL燒杯。

步驟5-2 取定量(3wt%)之黏稠劑、牡蠣殼水泥至燒杯中。

步驟5-3 持續攪拌至均勻溶解

步驟5-4 填充至培養皿並等待乾燥



(資料來源：出自於指導老師所繪製)

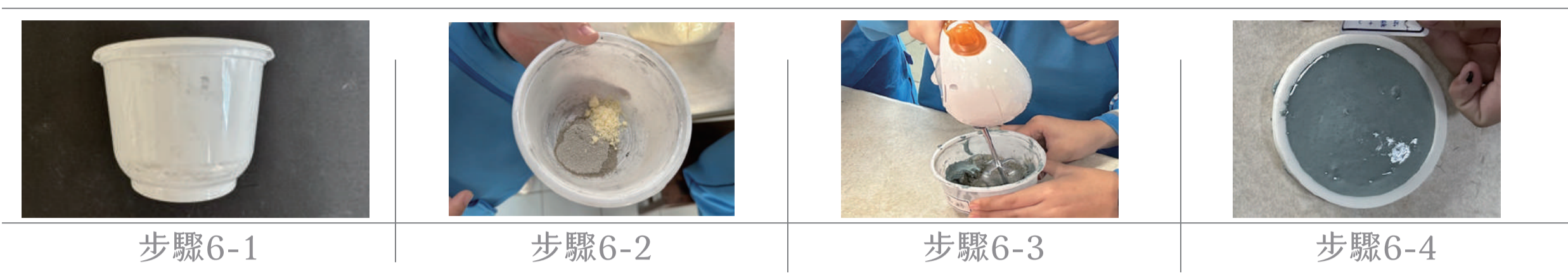
### ⑥ 功能性材料灌模測試

步驟6-1 準備1個塑膠容器。

步驟6-2 取不同比例之牡蠣殼水泥、黏著劑與功能性材料至塑膠容器中。

步驟6-3 持續攪拌至均勻溶解

步驟6-4 填充至膠模並等待乾燥



(資料來源：出自於指導老師所繪製)

## 二.應用實驗

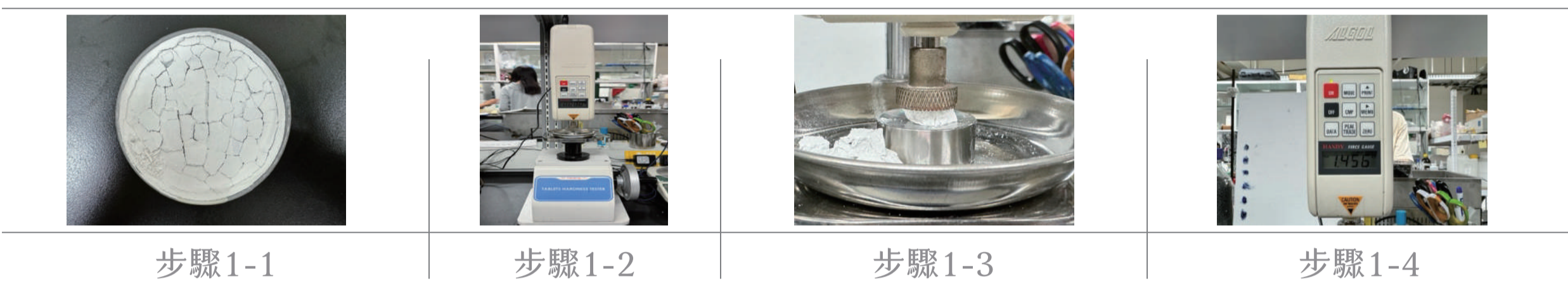
### ① 硬度觀察

步驟1-1 準備樣品。

步驟1-2 放置硬度計測量平台。

步驟1-3 下壓至材料崩解出現裂痕

步驟1-4 停止並記錄耐壓壓力



(資料來源：出自於指導老師所繪製)

### ② 透水性觀察

步驟2-1 準備1個燒杯及1支滴管。

步驟2-2 滴1滴水至材料上並開始計時。

步驟2-3 直到水滴完全滲入材料中

步驟2-4 停止計時並記錄時間



(資料來源：出自於指導老師所繪製)

## 研究結果

### 一.利用農漁循環材料製作低碳材料

#### ① 牡蠣殼水泥製備

在牡蠣殼水泥的製備實驗中，氧化鈣(CaO)加水會產生氫氧化鈣(Ca(OH)<sub>2</sub>)與放熱反應，因此我們嘗試觀察氧化鈣與水在不同比例下的溫度與時間之變化趨勢，如下圖4-1所示。根據實驗結果顯示，當氧化鈣加水後開始產生放熱反應，攪拌時間達50分鐘後溫度開始轉折下降，因此我們推測在配置牡蠣殼水泥的最佳攪拌時間為50分鐘；同時，我們觀察到隨著氧化鈣與水(CaO/H<sub>2</sub>O)的配置比例減少，其升溫曲線幅度亦呈現緩慢上升，溫差分別為17.7°C(1/1.5)、16.5°C(1/2)、15°C(1/4)、8°C(1/9)，可合理推測氧化鈣溶於水的放熱過程中，大量的熱能被高比例的水溶液帶走，因此在升溫曲線上呈現較緩和的趨勢。

而在氧化鈣與水(CaO/H<sub>2</sub>O)的配置比例為1:1時，其水量不足以充分均勻溶解氧化鈣導致攪拌困難度提升而無法順利觀察實驗現象，如下圖4-2所示；我們觀察當氧化鈣與水(CaO/H<sub>2</sub>O)的配置比例為1:2時的牡蠣殼水泥具有較佳的流動填充性及較少的乾燥水量，是較合適的配置參數。

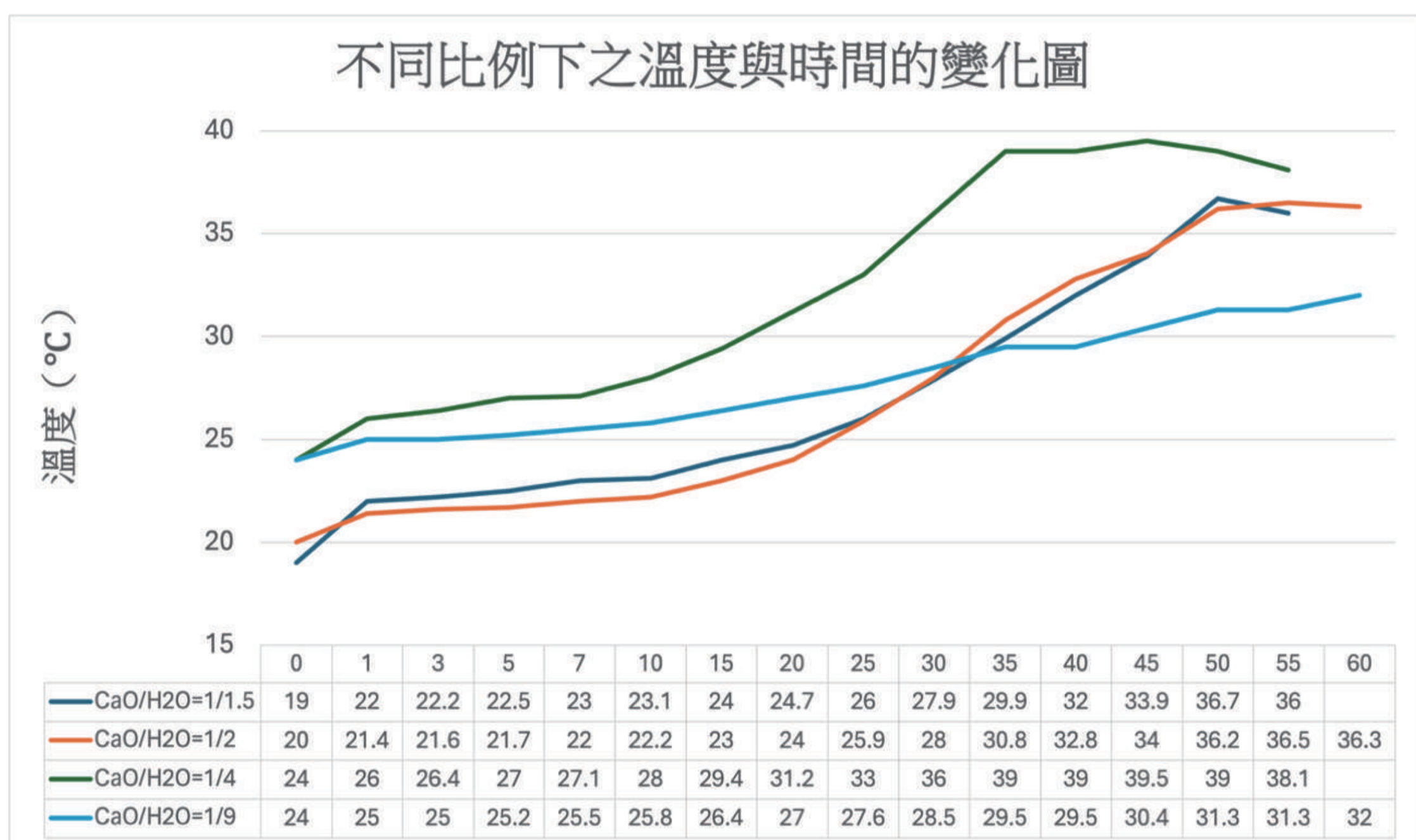


圖4-1.不同氧化鈣與水的製備比例下之溫度與時間的變化圖。(資料來源：出自於指導老師所繪製)



圖4-2.氧化鈣與水(CaO/H<sub>2</sub>O)配置比例為1:1時之水泥製備情形(資料來源：出自於指導老師所繪製)

#### ② 利用牡蠣殼水泥灌模

牡蠣殼水泥灌模實驗中，乾燥後的觀察如下圖4-3所示，根據實驗結果可明顯觀察到碎裂之情形，推測材料於乾燥後間的黏著力不足導致裂縫產生。結果說明單純使用牡蠣殼水泥灌模的可行性是不足的。

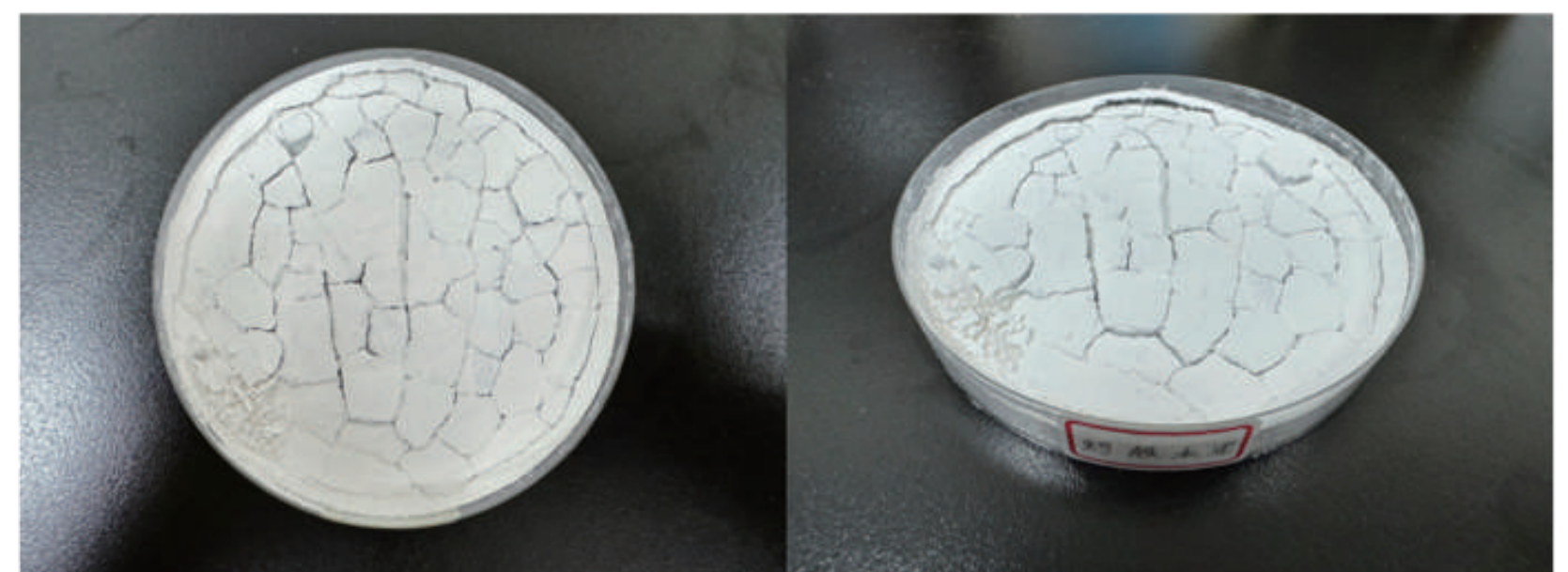


圖4-3.利用牡蠣殼水泥灌模之乾燥後觀察(資料來源：出自於指導老師所繪製)

### ③ 奈米纖維素的觀察與製備

在奈米纖維素的觀察實驗中，我們分別配置1wt%、2wt%、3wt%、5wt%、10wt%的奈米纖維素水溶液，觀察其溶解之情形，配置情形如下圖4-4所示；實驗結果顯示，奈米纖維素加入水溶液中亦聚集並黏結成塊狀，須透過攪拌讓材料均勻溶解之水中。

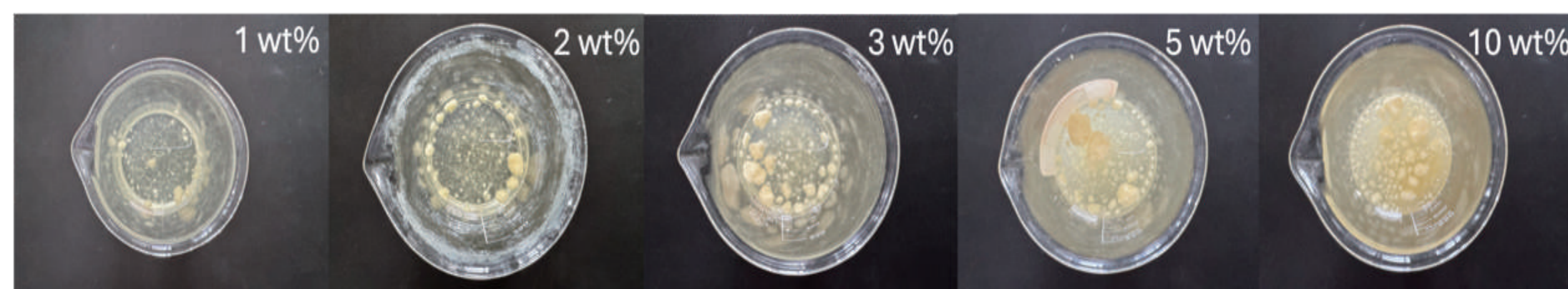


圖4-4.不同比例下的奈米纖維素溶於水中之俯視觀察(資料來源：出自於指導老師所繪製)

經攪拌5分鐘後，觀察1wt%、2wt%、3wt%、5wt%、10wt%的奈米纖維素水溶液的溶解情形，如下圖4-5所示；實驗結果顯示，1wt%的奈米纖維素水溶液已達完全溶解，2wt%以上之水溶液仍可見塊狀之奈米纖維素於水溶液中，而10wt%奈米纖維素水溶液則有較多明顯之塊狀物。

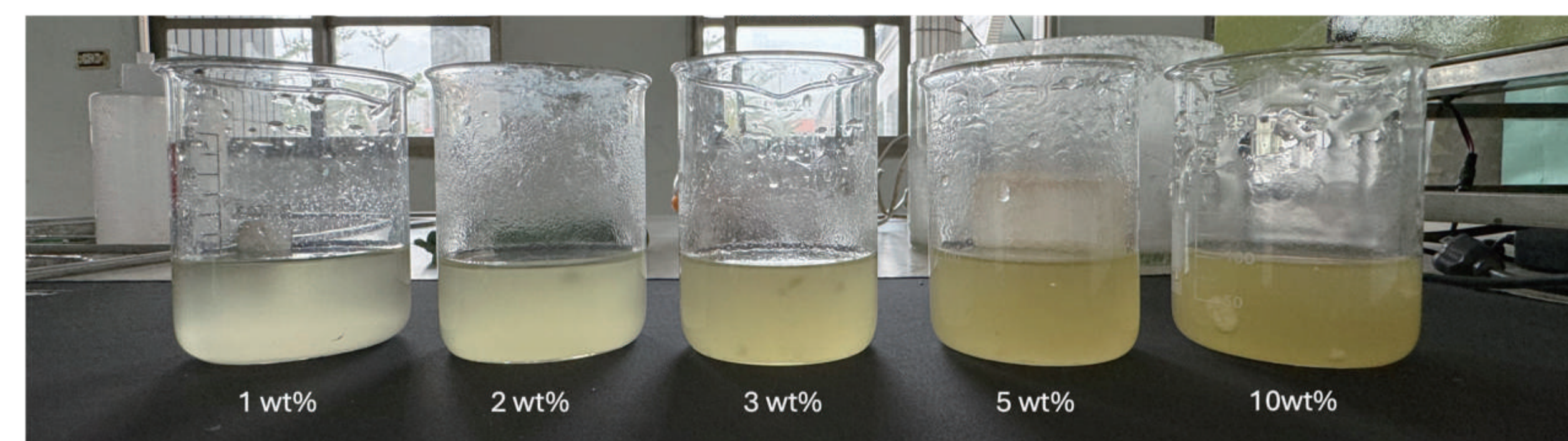


圖4-5.不同比例下的奈米纖維素溶於水中攪拌五分鐘後之側視觀察(資料來源：出自於指導老師所繪製)

將攪拌完全之水溶液倒置膠模並靜置至乾燥後觀察，結果如下圖4-6所示；結果顯示隨著奈米纖維素水溶液的濃度增加，其顏色越接近深黃色，且狀態接近膠體狀態，5wt%與10wt%可觀察到膠體凝結並些微脫落的情形；而1wt%~3wt%的奈米纖維素水溶液則呈現水體狀態，可明顯觀察到流動性較佳，無凝結狀態。考慮灌模所需之流動性與黏著性，因此採用1wt%~3wt%往下作為牡蠣殼水泥黏著劑之參數試驗。



圖4-6.不同比例下的奈米纖維素灌模乾燥後之觀察。(資料來源：出自於指導老師所繪製)

#### ④ 利用牡蠣殼水泥與奈米纖維素灌模

在利用奈米纖維素作為黏著劑的實驗中，我們分別配置1wt%、2wt%、3wt%的牡蠣殼水泥並灌至培養皿中，觀察其乾燥後的碎裂程度，如下圖4-7所示；根據實驗結果顯示，隨著奈米纖維素的比增加，乾燥後的碎裂程度可觀察到明顯減少，說明奈米纖維素可用來作為牡蠣殼水泥間之黏著劑材料。

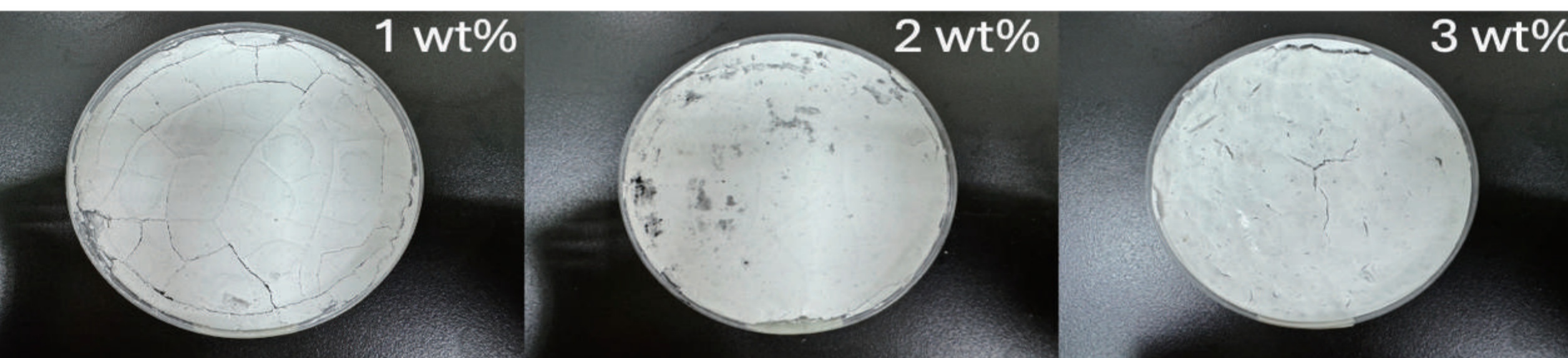


圖4-7.不同比例的奈米纖維素結合牡蠣殼水泥灌模乾燥後之情形。(資料來源：出自於指導老師所繪製)

### ⑤ 比較不同類型的黏著劑

我們選用常見的食品添加劑(奈米纖維素、甲基纖維素、海藻膠、玉米澱粉)以3wt%的比例與牡蠣殼水泥進行灌模實驗，觀察其乾燥後的情形，如下圖4-7所示；根據實驗結果顯示，利用甲基纖維素與海藻膠作為黏著劑的吸水膨脹較為明顯，因此在乾燥後的模具表面呈現不規則隆起狀態，且以手按壓呈現彈性體的狀態。以奈米纖維素與玉米澱粉作為黏稠劑的材料均勻度與分散性佳，易於填充，但乾燥後略呈現縮小與部分碎裂之現象。



圖4-8.不同種類的黏稠劑結合牡蠣殼水泥灌模乾燥後之情形。(資料來源：出自於指導老師所繪製)

### ⑥ 功能性材料灌模測試

在灌模測試實驗中，我們選用不同材料以不同比例結合牡蠣殼水泥並觀察其乾燥後的情形，如下圖4-8所示；根據實驗結果顯示，比較如下：

- 根據樣品1、樣品2實驗結果顯示：  
纖維素的添加有助於提高矽藻土與牡蠣殼水泥之間的黏著力。
- 根據樣品2、樣品3實驗結果顯示：  
隨著矽藻土的添加量提升，成品外觀顏色較白且表面坑洞情形略微增加。
- 根據樣品2、樣品4實驗結果顯示：  
菱殼炭的添加使材料顏色分佈不均，但材料表面較為平整。
- 根據樣品4、樣品5實驗結果顯示：  
碳酸鈣的添加使材料使材料顏色較為均勻，表面坑洞略顯較多。
- 根據樣品4、樣品6實驗結果顯示：  
纖維素可作為純菱殼炭的黏著劑，但比例不足導致碳材乾燥後有明顯龜裂的情形。



組成	樣品1	樣品2	樣品3	樣品4	樣品5	樣品6
牡蠣殼水泥	3	3	3	3	3	
纖維素		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
菱殼炭				0.5	0.5	3
矽藻土	1	1	3			
碳酸鈣					1	

圖4-9.不同材料結合牡蠣殼水泥灌模乾燥後之情形(資料來源：出自於指導老師所繪製)

## 二.應用實驗

### ① 硬度觀察

在硬度觀察實驗中，我們隨機抽樣三塊大小接近之塊狀成品，置於硬度計測量其硬度值並記錄之，實驗結果顯示如下表4-1所示；隨著奈米纖維素的含量增加，其耐受壓力亦呈現上升的趨勢，當採用3wt%的玉米澱粉作為黏著劑時具有**最大硬度偵測值，其平均硬度值為5.33 kg**。然而，當採用3wt%的甲基纖維素與3wt%的海藻膠作為黏著劑時，成品具有彈性可耐壓不易碎裂之特性，其耐受壓力超過儀器之偵測極限，其比較觀察圖如下圖4-10所示：

組成	硬度值 (kg)			平均硬度值 (kg)
	第一次	第二次	第三次	
材質A 牡蠣殼水泥	2.082	1.910	2.308	2.100
材質B 牡蠣殼水泥 3wt%玉米澱粉	2.367	2.108	2.353	2.276
材質C 牡蠣殼水泥 2wt%海藻膠	2.720	2.882	2.168	2.590
材質D 牡蠣殼水泥 3wt%海藻膠	2.818	2.956	2.661	2.812
材質E 牡蠣殼水泥 3wt%玉米澱粉	5.556	5.308	5.125	5.330
材質F 牡蠣殼水泥 3wt%甲基纖維素				
材質G 牡蠣殼水泥 3wt%海藻膠				

表4-1.不同比例與種類的黏著劑結合牡蠣殼水泥灌模乾燥後之硬度值觀察。（資料來源：出自於指導老師所繪製）

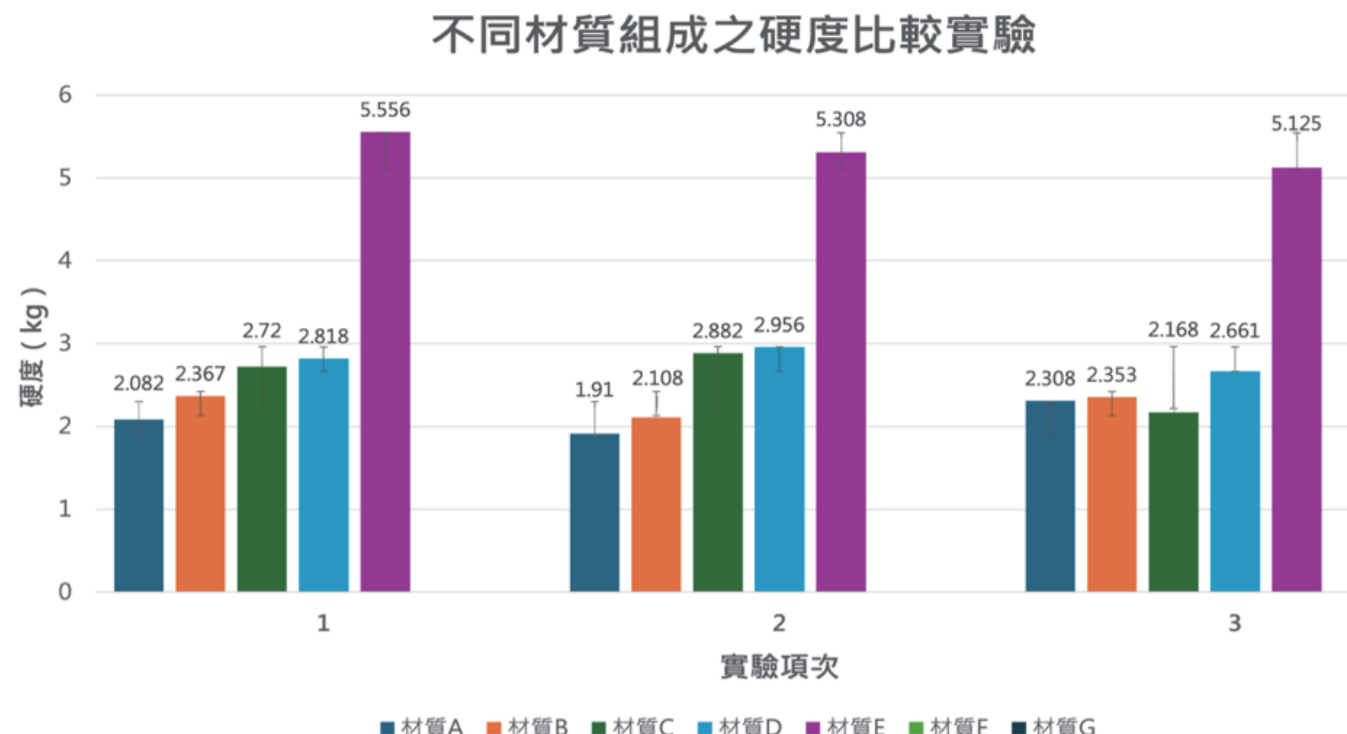


圖4-10. 不同比例與種類的黏著劑結合牡蠣殼水泥灌模乾燥後之硬度值觀察實驗。（資料來源：出自於指導老師所繪製）

在不同組成的成品乾燥後之硬度值觀察實驗中，結果顯示如下表4-2所示；根據實驗結果顯示，比較如下：

1. 根據樣品2、樣品3實驗結果顯示：

隨著矽藻土的添加量提升，其硬度值有下降之趨勢，說明矽藻土的添加會減少**成品結構上的耐受壓力**。

2. 根據樣品2、樣品4實驗結果顯示：

菱殼炭與矽藻土性質相當，輕質無黏性的功能性添加材料，無法增加**成品結構上的耐受壓力**。

3. 根據樣品4、樣品5實驗結果顯示：

添加部分未斷燒前的牡蠣殼粉末（碳酸鈣材料）作為骨料結構有助於提升**成品在耐受壓力上的表現**，合理推測來自於碳酸鈣材料本身具有較硬的材料特性。

4. 根據樣品4、樣品6實驗結果顯示：

菱殼炭結合奈米纖維素製作的成品雖可測到較大的硬度值，但特性接近彈性體，**不適用於作為灌模過程中的主材料結構**，仍須有牡蠣殼水泥作為材料硬化與結構**支撐的主要原料**。根據不同組成的成品乾燥後之硬度值觀察實驗，其比較觀察趨勢如下圖4-11所示：

組成	硬度值 (kg)			平均硬度值 (kg)
	第一次	第二次	第三次	
樣品2 牡蠣殼水泥*3 矽藻土*5 0.5ml*1	1.151	0.958	1.330	1.146
樣品3 牡蠣殼水泥*3 矽藻土*5 砂藻土*3	0.908	0.772	0.769	0.816
樣品4 牡蠣殼水泥*3 矽藻土*5 0.5ml*1	1.216	1.011	1.152	1.126
樣品5 牡蠣殼水泥*3 矽藻土*5 菱殼炭*1	5.185	4.346	4.884	4.805
樣品6 牡蠣殼水泥*5 矽藻土*3	4.695	4.578	4.276	4.516

表4-2.不同組成的成品乾燥後之硬度值觀察（資料來源：出自於指導老師所繪製）

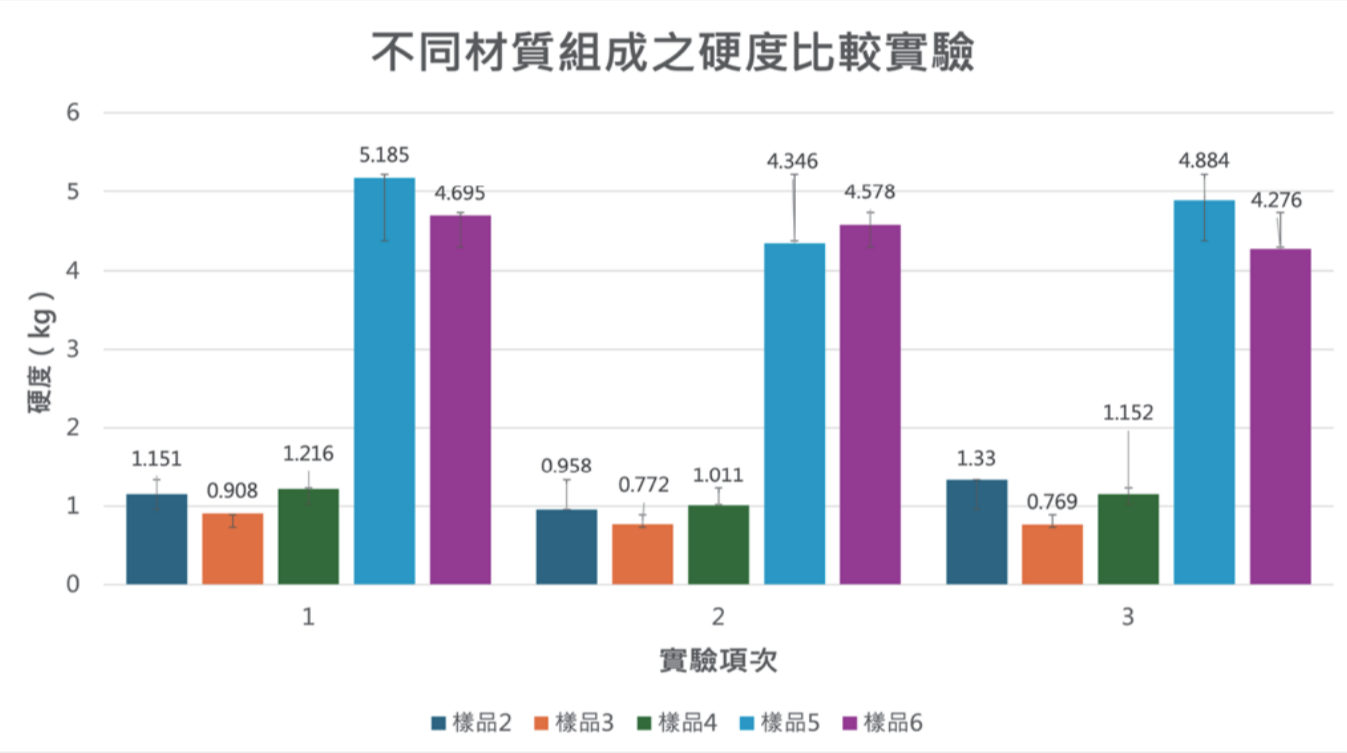


圖4-11. 不同組成的成品乾燥後之硬度值觀察實驗（資料來源：出自於指導老師所繪製）

### ② 透水性觀察

在透水性觀察實驗中，我們隨機取三個成品位置並滴入1滴水，觀察水滴從表面到完全滲透所需要的時間並記錄之，實驗結果顯示如下表4-3所示；根據實驗結果顯示，不同種類的黏著劑添加會增加水滴從表面到完全滲透所需的時間，顯示**黏著劑雖然可扮演材料間的黏著角色，同時也會減少材料間的孔隙現象**。隨著奈米纖維素的含量增加，我們觀察水滴完全滲透所需要的時間趨勢為3wt%奈米纖維素>2wt%奈米纖維素≈1wt%奈米纖維素≈無添加奈米纖維素；在不同種類黏著劑添加實驗中，我們觀察到水滴完全滲透所需要的時間趨勢為**甲基纖維素>奈米纖維素>海藻膠>玉米澱粉**，其中**3wt%玉米澱粉**作為黏著劑不僅可達到材料間的黏著效果，其**透水性的表現亦最接近原牡蠣殼水泥的狀態**。其比較觀察趨勢如下圖4-12所示：

組成	時間 (sec)			平均時間 (sec)
	第一次	第二次	第三次	
材質A 純水泥	1.54	0.81	0.64	1.00
材質B 牡蠣殼水泥 3wt%海藻膠	1.26	1.13	1.06	1.15
材質C 牡蠣殼水泥 2wt%海藻膠	1.03	1.01	1.11	1.05
材質D 牡蠣殼水泥 3wt%海藻膠	1.48	1.43	1.56	1.49
材質E 牡蠣殼水泥 3wt%玉米澱粉	1.08	1.03	1.04	1.05
材質F 牡蠣殼水泥 3wt%甲基纖維素	1.99	3.43	2.11	2.51
材質G 牡蠣殼水泥 3wt%海藻膠	1.00	1.36	1.38	1.25

表4-3.不同比例與種類的黏著劑結合牡蠣殼水泥灌模乾燥後之透水性觀察。（資料來源：出自於指導老師所繪製）

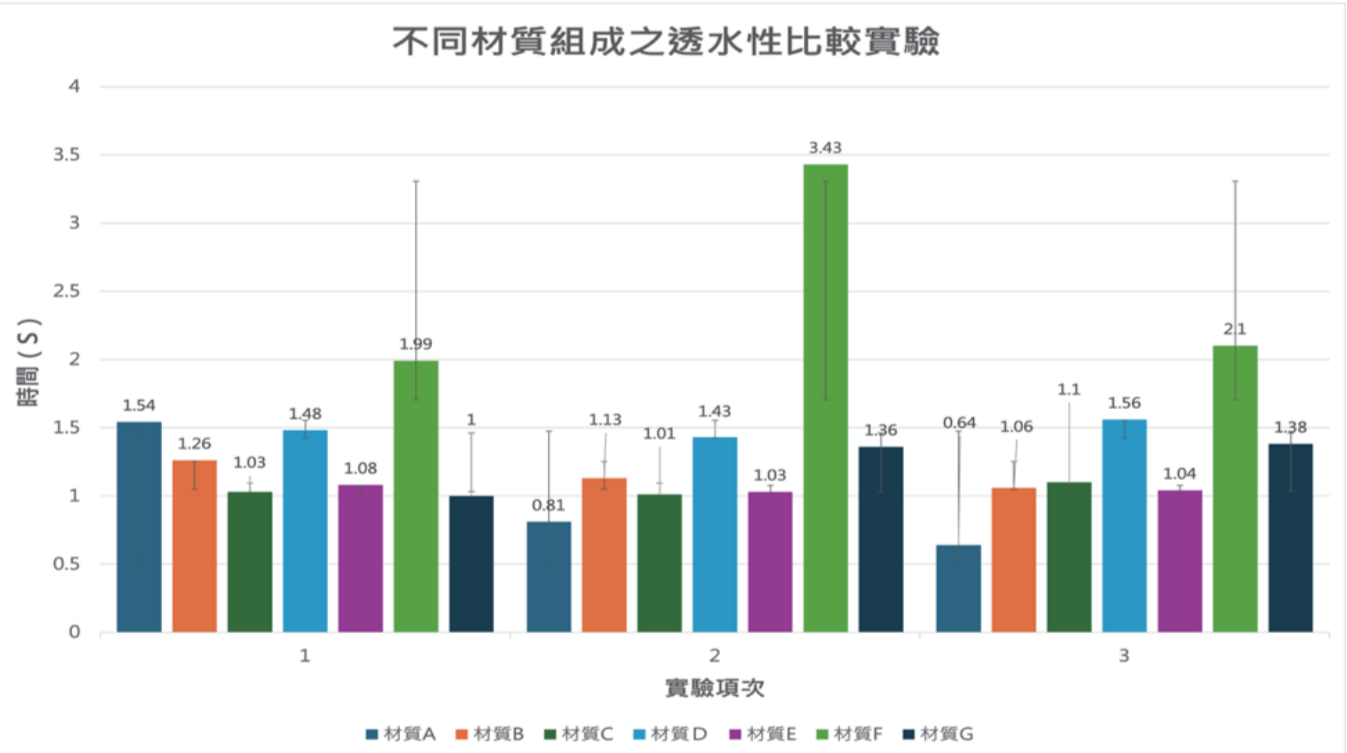


圖4-12. 不同比例與種類的黏著劑結合牡蠣殼水泥灌模乾燥後之透水性觀察趨勢。（資料來源：出自於指導老師所繪製）

在不同組成的成品乾燥後之透水性觀察實驗中，實驗結果顯示如下表4-4所示；根據實驗結果顯示，比較如下：

1. 根據樣品2、樣品3實驗結果顯示：

隨著矽藻土的含量增加，其滲透時間從8.08秒縮短至3.24秒，顯示**矽藻土的含量增加有助於成品材料在透水性的提升**。

2. 根據樣品4、樣品5實驗結果顯示：

水滴在經過30秒後仍處於成品表面，尚未滲透完全；樣品6的平均滲透時間為26.72秒，顯示**生物炭的孔隙特性有助於水分的滲透**；近一步計算在本實驗中所採用的體積比例，換算奈米纖維素的重量百分比約為5wt%，合理推測採用奈米纖維素作為黏著劑會影響成品材質的透水性所導致，其比較觀察趨勢如下圖4-13所示：

組成	時間 (sec)			平均時間 (sec)
	第一次	第二次	第三次	
樣品2 牡蠣殼水泥*3 矽藻土*5 0.5ml*1	9.75	8.3	6.18	8.08
樣品3 牡蠣殼水泥*3 矽藻土*5 砂藻土*3	3.53	2.34	3.86	3.24
樣品4 牡蠣殼水泥*3 矽藻土*5 0.5ml*1	> 30	> 30	> 30	> 30
樣品5 牡蠣殼水泥*3 矽藻土*5 菱殼炭*1	> 30	> 30	> 30	> 30
樣品6 牡蠣殼水泥*5 矽藻土*3	26.55	25.7	27.9	26.72

表4-4.不同組成的成品乾燥後之透水性觀察（資料來源：出自於指導老師所繪製）

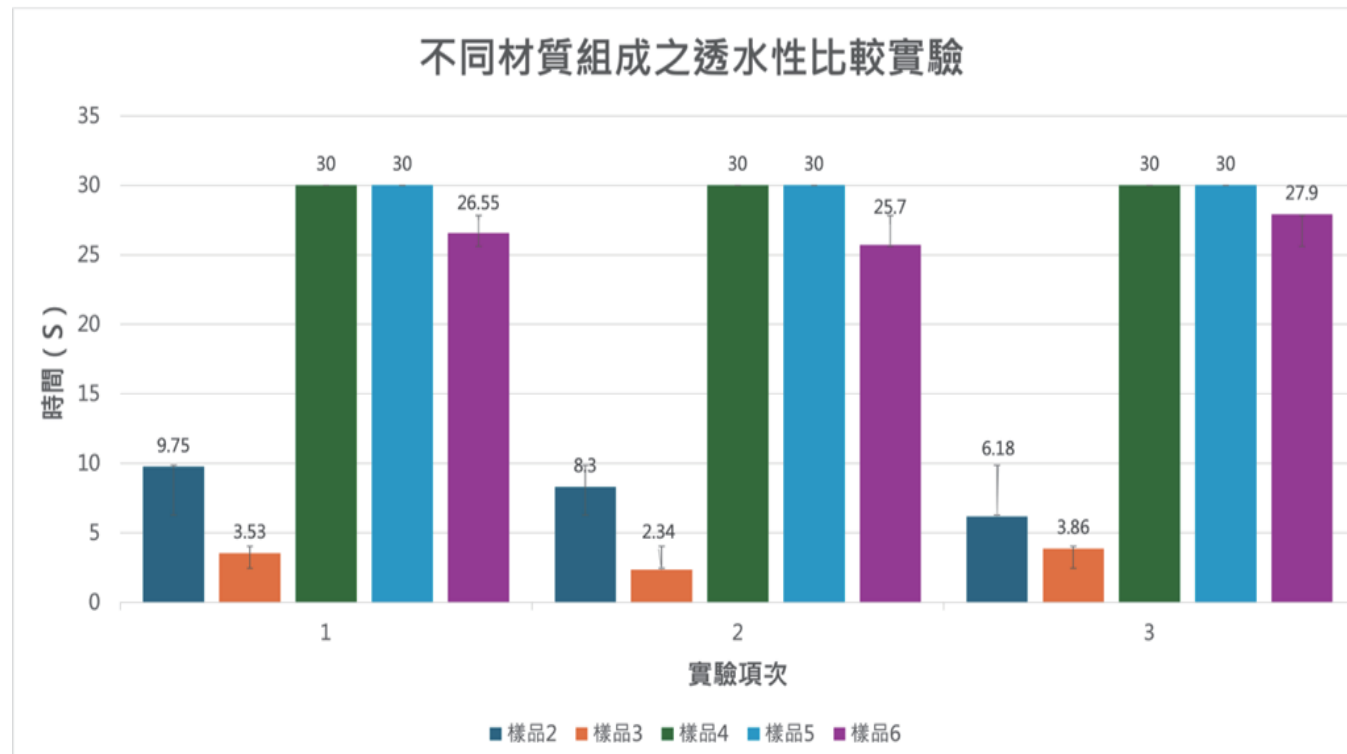


圖4-13. 不同組成的成品乾燥後之透水性觀察趨勢。（資料來源：出自於指導老師所繪製）

在延伸性比較實驗中，我們以最佳化條件 3wt%玉米澱粉作為黏著劑、3wt%菱殼炭作為功能性透水材料，比較與市售水泥的硬度值與透水性差異，硬度實驗方面，我們比較以半徑0.75cm的圓面積下的材料最大受力值，觀察到採本實驗最佳化條件所合成之循環綠建材與市售水泥硬度值均超過儀器測量上限（6 kg/0.56 cm<sup>2</sup>），需要耐壓程度更高的儀器進一步比較之間的差異，**同時結果也顯示最佳化條件所合成之循環綠建材具有一定程度上的耐受壓力**，如下表4-5所示：

表4-5. 不同組成的成品乾燥後之硬度值觀察（資料來源：出自於指導老師所繪製）

組成	硬度值 (kg)		
	第一次	第二次	第三次
材質A 純水泥	超過測量上限	超過測量上限	超過測量上限
材質B 牡蠣殼水泥 3wt% 玉米澱粉	超過測量上限	超過測量上限	超過測量上限
材質C 牡蠣殼水泥 3wt% 玉米澱粉 3wt% 菱殼炭	超過測量上限	超過測量上限	超過測量上限

備註：儀器偵測極限值：6 kg/0.56 cm<sup>2</sup>，在半徑0.75cm的圓面積下所能承載的負重上限為6kg，在此以“超過測量上限”表示。

透水性實驗中，不同組成的成品乾燥透水性觀察時間如下表4-6所示，結果顯示牡蠣殼水泥結合3wt%玉米澱粉作為黏著劑所製作的循環材料與市售水泥的透水性相當；而**3wt%菱殼炭的添加作為透水性功能材料能有效的提升合成材料的透水特性**，平均透水時間從7.18秒縮短至4.85秒，相當適用於透水鋪面之應用，其比較觀察趨勢如下圖4-14所示：

組成	時間 (sec)					平均時間 (sec)
	1st	2nd	3rd	4th	5th	
材質A 純水泥	8.55	5.78	6.95	8.26	7.65	7.44
材質B 牡蠣殼水泥 3wt% 玉米澱粉	7.61	6.73	6.68	7.63	7.26	7.18
材質C 牡蠣殼水泥 3wt% 玉米澱粉 3wt% 菱殼炭	5.11	4.51	4.01	5.73	4.91	4.85

表4-6.不同組成的成品乾燥後之透水性觀察（資料來源：出自於指導老師所繪製）

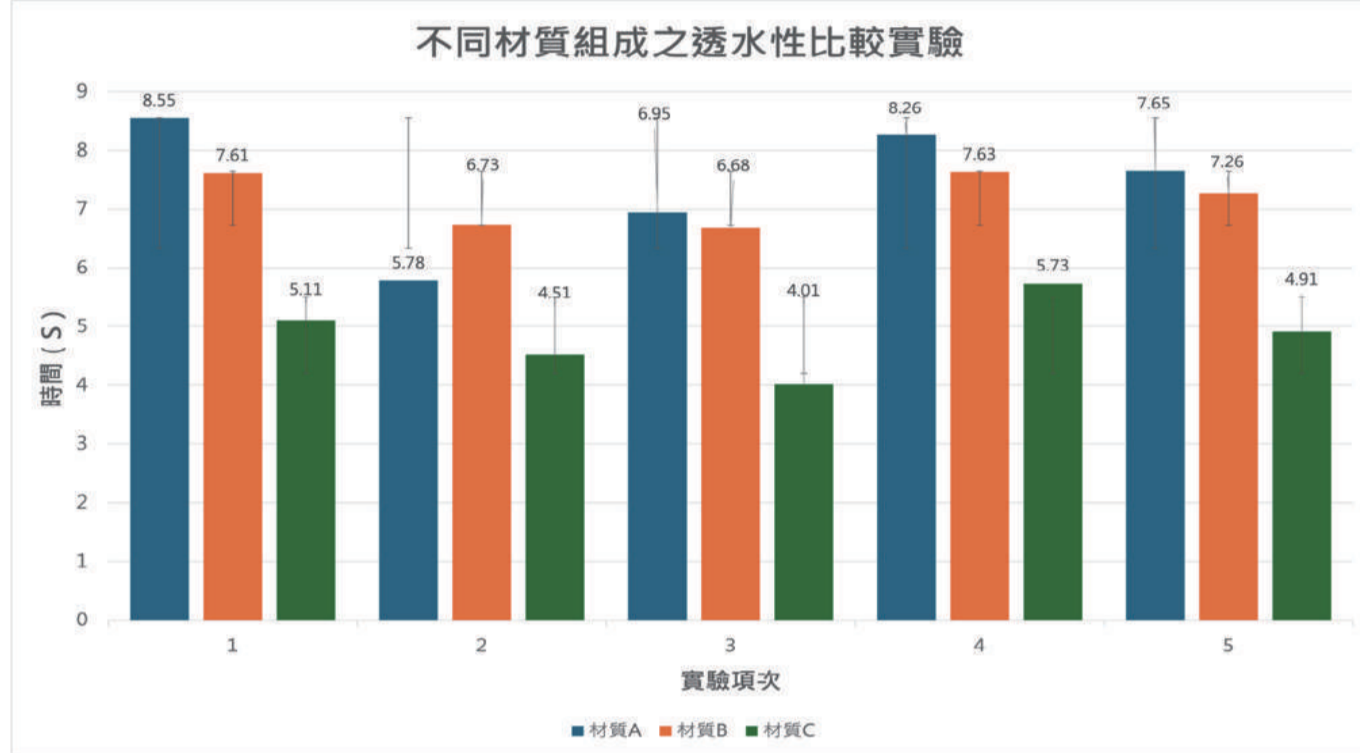


圖4-14. 不同組成的成品乾燥後之透水性觀察趨勢。（資料來源：出自於指導老師所繪製）

## 討論

- 每採用1公斤的水泥材料相當於產生1公斤的二氧化碳（CO<sub>2</sub>）排放量；因此，當採用煅燒後牡蠣殼粉所配置的牡蠣殼水泥作為建築材料來取代高碳排開採下的水泥材料時，可理解為**每取代1公斤的水泥開採使用即可減少1公斤的二氧化碳碳排放量**。
- 生物炭具有高穩定性且不易分解的特性，可存續在人們生活的陸地系統中長達3-5個世紀之久；同時，**每採用1公斤的生物炭相當於可固定2.93公斤的二氧化碳碳排放量**於陸地系統，避免再回到大氣中。
- 本研究實驗成功找出透過日常生活中常見的低毒性食品添加劑作為材料黏著劑來達到**以分子料理的概念結合食品科學走向友善環境的生產**，兼具友善環境與永續生活的「淨零碳排」目標！

## 結論

- 牡蠣殼水泥最佳攪拌配置時間為50分鐘，氧化鈣與水之最佳比例為1:2時具有最佳之填充流動性。
- 3wt%的奈米纖維素具有灌模所需的較佳流動性與黏著性。
- 奈米纖維素與玉米澱粉則具有較佳之均勻度與分散性，適合作為牡蠣殼水泥與其它材料間的黏著劑使用。
- 纖維素的添加有助於功能性材料與牡蠣殼水泥間的黏著性；矽藻土（白）與菱殼炭（黑）的添加可用來調整成品顏色明暗，未煅燒前的牡蠣殼材料（碳酸鈣）添加會使成品表面呈現較為粗糙的狀態。
- 硬度實驗結果顯示，**3wt%的玉米澱粉作為黏著劑時具有最大硬度偵測值**，其平均硬度值為5.33 kg；而矽藻土的添加會減少成品結構的耐受壓力，反之添加未煅燒前的牡蠣殼材料（碳酸鈣）則會增加成品結構的耐受壓力。
- 黏著劑雖然可扮演材料間的黏著角色，同時也會減少材料間的孔隙現象，**2wt%奈米纖維素與3wt%玉米澱粉具有較佳的透水性時間表現**。
- 以**3wt%玉米澱粉**作為黏著劑結合牡蠣殼水泥具有與市售水泥相當的**耐受壓力**；同時，以**3wt%菱殼炭**作為功能性材料，能有效的提升材料於透水性上的**特性**。
- 本研究成功結合農業循環材料-菱殼炭與漁業循環材料-牡蠣殼水泥，以食品科學的方式找出取代市售高碳排水泥的科學研究，不僅在地方農、漁廢的再利用領域上找出一條新出路，同時在大規模導入使用之際，亦能帶出規模化之**減碳（採用牡蠣殼水泥）與固碳（採用菱殼炭）**效益，實現「綠色化學」與「環境永續」的生活目標，作為面向「2050淨零碳排」重要的思考方式之一！

## 參考文獻資料

- 研究報告
  - 林志勇；胡乾璋；陳郁晴（2021）廢材變烏金-各式農業廢棄物生物炭吸附性質之探討。中華民國第 61 屆中小學科學展覽會。
  - 曹宇寬；周品儀；陳柔蓁（2022）炭鎖生活-永續循環的淨水除濕材。中華民國第 62 屆中小學科學展覽會。
  - 林秀米；胡妍仔；陳皓洋（2023）菱炭（零碳）生活-永續淨零的綠建材。中華民國第 63屆中小學科學展覽會。
- 網路資料
  - 曾勝茂；（2020）奈米纖維素的新發展。科學發展，572期。
  - 林鴻儒；（2018）神奇的膠水。科學發展，542期。
  - 李國基；（2021）農業資源循環利用，點廢成金產業創新。農政視野。
  - 楊秋忠；（2023）全球減碳排的基盤，有機廢棄物處理。豐年雜誌。
  - 向富實業；（2014）食品添加物使用範圍及用量標準-第12類-粘稠劑（糊料）。衛福部食品藥物管理局。
  - 林弘萍；（2023）菱殼炭循環發展歷程。臺灣網路科教館。
  - 劉禹慶；（2023）澎湖牡蠣殼再進化運用 成為建築材料一環。自由時報。