

煅燒文蛤殼粉能把養殖池底變得更健康嗎？

蔡慧君¹、林峰右²、高堂穎¹、周晏羽¹

¹水產試驗所水產加工組、²海水養殖研究中心

前言

嘉義縣布袋鎮好美里約有 700 公頃魚塭進行文蛤 (*Meretrix taiwanica*) 養殖，其養殖戶約佔當地漁村人口的 80%，是全村主要的養殖物。然近年來因極端氣候巨變，死亡文蛤所衍生的廢殼問題日趨嚴峻，估計好美里每年產生約 500 公噸的文蛤廢殼，而廢棄文蛤殼夾帶泥沙與殘肉，常隨意堆積於魚塭周邊或道路旁，未妥善處理不僅影響環境景觀，也可能因殘留有機物而產生惡臭與衛生問題，因此正積極尋求多元利用及去化的管道。文蛤殼主要成分為碳酸鈣 (CaCO_3)，經高溫煅燒後可轉化為氧化鈣 (CaO)，具有調節酸鹼值及改善底質環境的潛力。本研究利用煅燒文蛤殼粉作為養殖池底質改良劑，並與市售生石灰比較其對文蛤養殖池底土環境之影響，同時探討製程能耗及碳排放，以評估文蛤殼再利用於養殖環境管理之可行性，期能藉由好美里建立循環經濟效益及在地產業經營模式的文蛤循環示範案場。

材料與方法

一、底質改良劑於田間試驗設計

將嘉義縣布袋鎮好美里一處面積約 1 分地之養殖池作為試驗場域，完成整池、備池、基肥添加 (潑灑茶粕)，隨即排乾池水、

曬乾底土至乾燥龜裂，再翻鬆表層土壤後重新注水。試驗區以隔網劃分為 4 組 (每區約 2 m^2)：分別為全煅燒文蛤殼粉組 (A)、半煅燒文蛤殼粉組 (B)、市售生石灰組 (C) 及未施用改良劑之對照組 (D) (圖 1)。各試驗組均依 1,000 kg/ 公頃之施用量潑灑改良劑，並於試驗第 0、3、7、10 及 14 天進行採樣，檢驗底土 pH 值、氧化還原電位 (oxidation reduction potential, ORP) 及易氧化物 (easily oxidized material, EOM)；另於第 0、7、14 天量測底土耗氧量 (sediment oxygen demand, SOD)。



圖 1 試驗設計示意圖

二、底土重金屬分析

為探討底質改良劑撒布前後對養殖池底土重金屬含量之影響，在曬池後依環保



署 NIEA S102.64B 採樣規範進行底土採樣，並另於底質改良劑施作試驗第 14 天，採集各試驗區之底土以進行分析比較。

三、分析方法

pH 值使用 Twinno PH30 測量；ORP 以 WTW Cond 3110 電極插入底土 3 cm 深度測定；SOD 則以 OxiTop 1512 氣壓感測探頭在 20℃ 下培養 5 天測定 (Ling et al., 2009)。底土重金屬分析依環保署環署土字第 1000116349 號令第四條底泥品質指標規定的重金屬項目包括銅、鉛、鋅、鎘、鎳、汞等進行分析，並依「土壤檢測方法總則 (NIEA S103.61C)」進行檢測。

四、煅燒製程能耗與碳排分析

參考前人 (Chen, 2015；李，2013) 研究，煅燒溫度設定梯度為 300 – 1,200℃ 處理 24 小時 (包含升溫)，分析灼熱減量 (thermogravimetry, TG) 及氧化鈣含量 (檢測方法 CNS-287-K6042)，以確認 CaCO_3 轉化為 CaO 之最低有效溫度，並記錄各梯度之能耗 (kWh/ 批次) 與碳排量 ($\text{kgCO}_2\text{e/kg}$)。

結果與討論

一、煅燒文蛤殼粉作為底質改良劑於田間試驗結果

(一) 提升池水與底土 pH：讓池底更有緩衝力
將不同煅燒處理的文蛤殼粉與市售生石灰分別施作於文蛤池評估其對水質與底土 pH 值之影響，結果顯示試驗初始池水 pH 值於各組為 7.6 – 7.8 與 D 組 (7.7) 無差異。A、B 組在第 3 天即顯著調升池水之 pH 值 (8.3; 8.2)，而 C 組則於第 7 天才達 A、

B 組的效果 (pH 8.3)，之後於 14 天的試驗期間，3 組之 pH 值皆未隨時間而呈現差異，但相較於 D 組，各試驗組顯示皆能顯著調升水質 pH 值 (圖 2 上)。

A 組與 B 組之底土 pH 值隨時間而漸增加，並在試驗第 10 天達最大值為 8.3 與 8.1，高於 C 組 (7.8)，而 D 組 pH 則於試驗期均維持在 7.1 – 7.5 (圖 2 下)。綜上 pH 值之結果顯示，無論是全煅燒或半煅燒的文蛤殼粉與市售生石灰，皆可釋放鹼性物質以中和酸性底泥，而提升水體或底土緩衝力。另依 Chuang 等 (2024) 研究顯示，300℃ 煅燒處理的文蛤殼粉對於文蛤養殖之 pH 值無顯著影響，因此回收再利用的文蛤殼需經適當的高溫煅燒來保有 CaO 活性才是有效調節底土或水質酸鹼性的關鍵。

(二) 下降底土的 EOM 與 SOD：減輕有機負荷、有助於減少缺氧風險

EOM 用以代表底土還原性與耗氧潛勢的指標。數值越高表示底土有機物多，較易產生水質惡化與病害風險。反之數值越低則代表底土較穩定和污染程度較低。

A、B 組與 C 組底土的 EOM 皆隨處理時間而漸減，且於第 10 天顯著低於 D 組 ($3.32 \pm 0.28 \text{ mgO}_2/\text{g}$) ($p < 0.05$)，其中以 A 組降至 $1.23 \pm 0.31 \text{ mgO}_2/\text{g}$ 效果最佳，優於 C 組 ($2.23 \pm 0.16 \text{ mgO}_2/\text{g}$) 和 B 組 ($2.28 \pm 0.24 \text{ mgO}_2/\text{g}$) (圖 3)。結果顯示煅燒文蛤殼粉同市售生石灰，皆可促使底土有機物的分解而降低 EOM 值並與對照組呈現顯著差異，其作用效果又以全煅燒處理最佳，推測可能的作用機制，係高溫煅燒後形成之氧化鈣具強鹼性與吸附性，可中和底泥的酸性有機物，並吸附游離狀的溶解性有機物，降低底泥中可被快速分解的碳

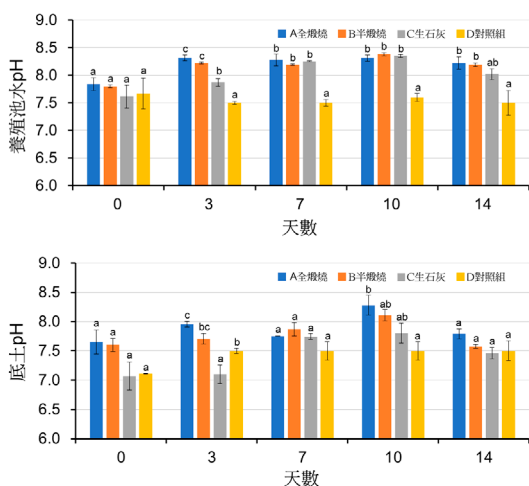


圖 2 不同底質改良劑對養殖池水和底土 pH 影響

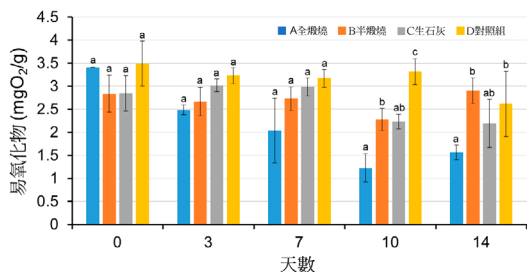


圖 3 不同底質改良劑對養殖池底土易氧化物影響

源，從而減少底泥耗氧壓力，促進底泥氧化狀態穩定化。

SOD 為底泥單位時間內消耗水體溶氧的能力，與有機物分解及微生物活性直接相關。數值越高表示底泥含有較多活性有機物，需大量氧氣分解，易導致池底缺氧，對文蛤、蝦蟹等底棲生物不利。數值越低則顯示底泥較乾淨、好氧化，養殖環境較佳。

不同底質改良劑對底土耗氧量之影響結果如圖 4 所示，A 組或 B 組之文蛤殼粉與 C 組皆於試驗第 14 天顯著調降底土的 SOD ($3,400 \pm 141.42$; $3,450 \pm 70.71$ 和 $2,600 \pm 141.42 \text{ mgO}_2/\text{m}^2/\text{day}$)，且遠比

D 組 ($7,450 \pm 70.71 \text{ mgO}_2/\text{m}^2/\text{day}$) 低 ($p < 0.05$)。結果顯示撒布煅燒文蛤殼粉與市售生石灰相同，皆能有效維持或降低文蛤池底泥耗氧，有助於減緩底泥有機負荷降低耗氧壓力與缺氧風險。

(三) 煅燒殼粉作為底質改良劑具環境安全性

試驗文蛤池依圖 5，區劃 16 個採樣點與正中間 1 個 (圖紅點處) 共 17 個表土土樣，混合後之混樣代表底質改良劑撒布前的樣品。另再與不同底質改良劑撒布處理 14 天後之底土，分析重金屬量之結果顯示，施用煅燒文蛤殼粉前後，底土中的鉻、銅、鎳、鋅、砷、鉛、鎘 (ND；未檢出)、汞 (ND) 等重金屬含量，相比 C 組和 D 組皆未呈現差異，且均符合「底泥品質指標之分類管理及用途限制辦法」對底泥品質指標項目之上、下限值規定，亦無隨時間累積的趨勢，驗證煅燒殼粉作為底質改良劑的環境安全性 (圖 6)。

二、煅燒製程能耗與碳排分析

文蛤殼的主成分為碳酸鈣 (CaCO_3) 經高溫處理可質變為氧化鈣 (CaO)，試驗結果無論是灼熱減量 (TG) 和 CaO 的變化趨勢皆證實煅燒溫度要達到 900°C 以上，才能有效把碳酸鈣轉化成氧化鈣，這也是材料產生改良效果的關鍵。

煅燒製程能耗與碳排分析結果如表 1 所示，實驗室規模每批處理 8 kg 文蛤殼，平均耗能為 51.93 kWh，碳排放量 $35.22 \text{ kgCO}_2\text{e}$ ，換算每公斤產品的碳排放量為 $4.40 \text{ kgCO}_2\text{e}$ 。煅燒製程中以升溫期的能耗和碳排最多佔總量 79.8%，其升溫能耗 (0.14 kWh/min) 顯著高於煅燒處理

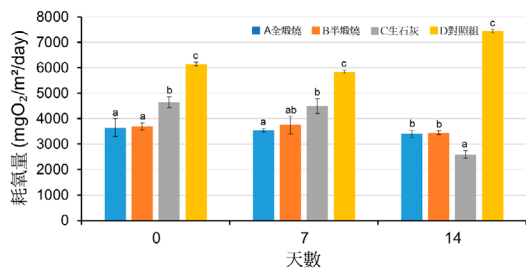


圖 4 以不同底質改良劑對養殖池底土耗氧量影響

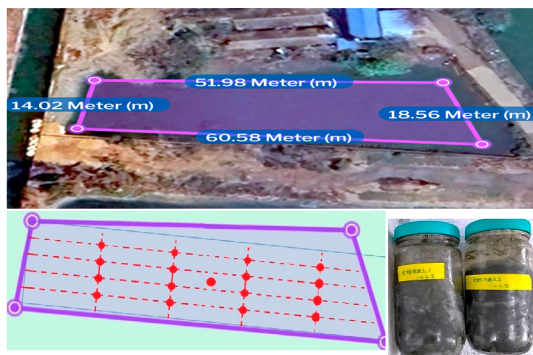


圖 5 文蛤池底土重金屬分析之採樣點及樣品

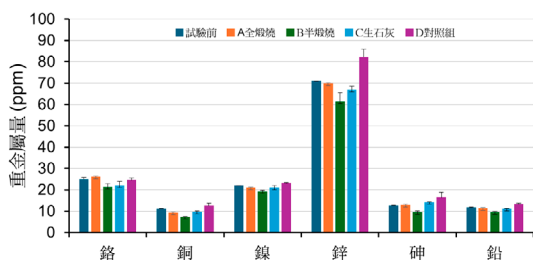


圖 6 不同底質改良劑撒布前後對底泥中重金屬含量比較

(0.09 kWh/min)；第一階段煨燒之碳排量為 33.59 kgCO₂e，較第二階段煨燒約減少 4.66%。這也說明此技術雖有環境效益，但未來若要大規模應用，仍應繼續優化能源效率。

結論

廢棄文蛤殼經高溫煨燒後製成的全煨燒殼粉，可有效取代市售生石灰，具備提升底土 pH 值、降低易氧化物含量及底泥耗氧量等改良效益，且重金屬檢測亦確認具環境安全性，充分展現廢殼資源化的循環經濟價值。此技術除可為嘉義布袋漁村每年 500 公噸廢棄文蛤殼提供具體可行的高值化利用途徑外，亦有助養殖戶改善廢殼堆置所衍生的環境衛生問題。未來若能進一步降低煨燒過程之能耗，將更具潛力發展為兼顧養殖效益與循環經濟之綠色資材 (圖 7)。



圖 7 地方型資源循環路線

表 1 煨燒文蛤殼批量 8 kg 之能耗與碳排量

	所耗功率 (kWh)	碳排量 (kgCO ₂ e)
升溫	41.42±0.85	28.10±0.58
第一階段煨燒	8.10±0.35	5.49±0.24
第二階段煨燒	2.41±0.33	1.64±0.22
總計	51.93±0.82	35.22±0.56