

水產生物碳封存作為碳交易之研究介紹



徐雅各

水產試驗所企劃資訊組

前言

為降低大氣中的溫室氣體（主要指二氧化碳）濃度，「京都議定書」設立「碳權」（carbon right），使二氧化碳成為有價的商品，但這並不是鼓勵廠商製造二氧化碳去販賣，也並非一般人可以買賣的商品，而是僅能透過企業或政府，將可以減少或用不到的二氧化碳排放量或吸收量（又稱碳補償，carbon offset），透過碳信用（carbon credit），釋出到碳交易市場（carbon market）進行買賣，以實現減碳目標，並創造低碳經濟。

碳補償包含再生能源（renewable energy）、能源效率（energy efficiency）、溫室氣體捕捉（gas capture）與封存（sequestration）等四類。本文將針對藻類及貝類如何捕捉與封存二氧化碳之機制與過程加以說明。

藻類的生物碳封存

海洋中的藻類與陸地植物一樣，在行光合作用時，會吸收大量的二氧化碳，以進行增殖作用。然而，除沿岸與近海外，廣闊的海洋是相當貧瘠的生態，缺乏藻類生物量。

馬丁博士提出鐵理論，認為鐵可以影響海洋生態系，提供減緩暖化效應的方法，並於1988年，說出「給我半艘船的鐵，我給你一個冰河時期」（Give me a half-tanker of iron, and I'll give you an ice-age — John H. Martin）的名言。

1991年菲律賓火山爆發，科學家估計約4萬公噸鐵質灰塵進入海洋，導致全球大氣的二氧化碳濃度降低及氧氣濃度增加。因此，鐵理論於1993年開始被測試，其後也經過多次驗證。2012年一家鮭魚復育公司，在未經允許下，投放120公噸的鐵化物於鮭魚洄游路徑，結果造成35,000 km²（將近1個臺灣的面積）的藻華（algal bloom）且持續數個月。臺灣也有一些公司（如台電、中油、中鋼、台泥等）以排放之二氧化碳進行大量培養藻類之試驗，但最終目的均非為碳交易。

貝類的生物碳封存

貝類在成長過程中，會將鈣與碳酸結合成碳酸鈣，在體外沉澱，形成貝殼，以保護肉體。隨著身體的增長，貝殼亦隨著增大。以牡蠣殼為例，其主要成分為碳酸鈣，約佔95%以上。二氧化碳略溶於水，在水中的型

態有水性二氧化碳 ($\text{CO}_{2(\text{aq})}$)、碳酸 (H_2CO_3)、碳酸氫根 (HCO_3^-)、碳酸根 (CO_3^{2-})。其化學平衡式如下：

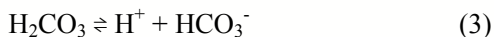
二氧化碳於大氣與水中之平衡：



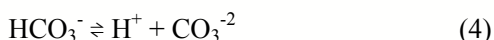
水性二氧化碳與水結合成碳酸：



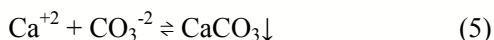
碳酸解離成碳酸氫根與氫離子：



碳酸氫根再解離成與氫離子與碳酸根：



鈣離子與碳酸根離子結合成碳酸鈣沉澱：



貝殼的形成並非直接利用二氧化碳，而是二氧化碳溶於水後所形成的碳酸。在自然環境下，由上面的化學平衡式可以知道，當水中的碳被貝類封存後，將促使大氣中二氧化碳溶入水中。理論上，只要有足夠的貝類產量，就如虹吸效應一般，可以持續不斷的間接封存大氣中的二氧化碳，而且，其期限遠較樹木更為長久。

就牡蠣而言，2014 年全球養殖牡蠣產量(含殼)約 500 多萬公噸，臺灣於 2015 年則有 2 萬多公噸。估計臺灣每年所產生的牡蠣殼重量高達 16 萬公噸，換算成 CO_2 ，約可減少 7 萬公噸的二氧化碳(分子量 $\text{CO}_2 = 44$, $\text{CaCO}_3 = 100$)。因此，碳權被期待可為貝類養殖的未來帶來願景。

問題與可能解決方法

藻類的生物碳封存過程非常有效，實驗證實其效率遠高於陸地植物；然而其問題在

於封存的持續性，當藻類組織分解或被消化後，所捕捉與固定的碳又會被釋放回自然界。

另外，部分的科學研究也對貝類生物碳封持相反意見。由於溶於水中的碳，大多以碳酸氫根存在，因此，鈣的結合對象以碳酸氫根居多，其化學平衡式為：



這平衡式打破了貝類養殖業者的希望，因為上述方程式顯示，碳酸鈣或貝殼的形成是釋放 CO_2 ，而非吸收 CO_2 。

Mistri 及 Munari 於 2012 年估算養殖花蛤 (*Ruditapes philippinarum*) 呼吸所排放 CO_2 的量(莫耳數)與貝殼的碳封存量(莫耳數)，結果顯示，花蛤養殖產生的 CO_2 較貝殼封存的更多。Munari 等人更於 2013 年估算貽貝 (*Mytilus galloprovincialis*) 的貝殼碳封存與 CO_2 的排放(呼吸)和釋放(貝殼形成)，研究結果同樣呈現出養殖產生的 CO_2 比貝殼封存的更多。因此，作者的結論是貝類養殖所形成的貝殼，應該不能作為碳交易項目。

前面所述之碳酸鈣平衡，乃是水體環境下的自然平衡。現有研究(資料來源：<https://www.scientificamerican.com/article/how-are-seashells-created/>)指出，貝殼含少量由蛋白質構成之蛋白間質(protein matrix)，其功能如同支架，於細胞外會與鈣離子結合形成晶狀碳酸鈣，並分層排列。換言之，殼的形成需要大量能量，而微藻是貝類的主要食物來源，亦即可間接利用 CO_2 。因此，未來的研究，應以生態系的碳平衡作為整體考量，結合藻類與貝類的生物碳封存應用，以實現碳交易目標。