

氣候變遷避不了 淨零排放要趁「藻」！

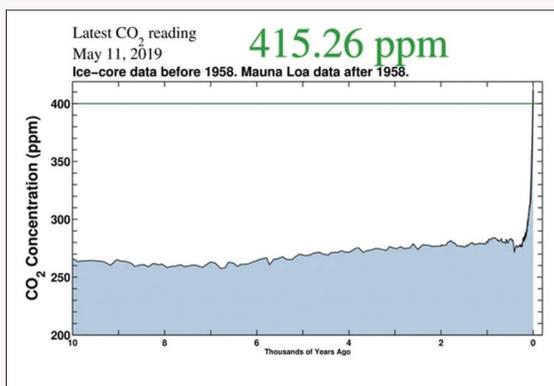
1 許自研
1 吳豐成

一、前言

當寒流、暖冬、暴雨、久旱等極端氣候現象 (Climate Extreme)，自「突發」到「屢發」，從「罕見」到「常見」，或許敲響人類末日浩劫的警鐘就不遠了。然而單一極端事件到底是自然情況下的氣候變遷 (Natural Climate Variability) 所致，還是人為活動造成大自然的反撲，在沒有確切證據之前，我們無法妄下定論。但根據聯合國政府間氣候變遷



| 註1：行政院農業委員會水產試驗所東港生技研究中心。



地球大氣中的二氧化碳 (CO₂) 濃度於2019年首次超過415 ppm。
資料來源：Ralph Keeling。



專門委員會 (The Intergovernmental Panel on Climate Change) 於 2021 年發布的報告指出，目前大氣中二氧化碳濃度已達有史以來的最高峰，與工業革命以前的全球平均氣溫相較，至少升高了攝氏 1.1 度。

當全球陸地氣溫與海洋水溫不斷升高的同時，意味著兩極冰川恐加速融化，導致海平面上升，在不久的將來，沿海低海拔地區或島國勢必有被淹沒之虞，而這種短期內相對無感的「漸變」(Gradual Change) 與極端氣候顯著致災的「驟變」(Abrupt Change) 相比，雖然較無立即性的危害，但時間尺度拉長會發現其所帶來的影響，恐怕更為深遠、廣泛。以目前為人類提供 20% 以上蛋白質來源的海洋漁業為例，當海水發生暖化及酸化現象時，將嚴重影響海洋生態環境，輕者改變水產生物棲息分布及洄游路徑，重者恐導致海洋生物的大規

模死亡與族群滅亡，對於人類糧食安全與產業經濟來說，無疑是重大打擊。

二、淨零排放已成全球共識

造成全球暖化的元凶，即是人類從事各類生產、運輸等活動所排放的溫室氣體，其中當屬排放量最多、留存大氣時間最長的二氧化碳危害最大，一旦大氣中的二氧化碳濃度超過了一定範圍，將使全球均溫隨之升高。目前學術界的共識指出，本世紀末應把地球升溫幅度控制在攝氏 2 度內才算安全，有鑑於此，2015 年的聯合國第 21 屆締約方大會 (COP 21) 簽署了《巴黎協定》(Paris Agreement)，獲得了包含我國在內的上百個國家同意在 2050 年完成「淨零」(Net Zero) 目標，即努力讓人為造成的溫室氣體達到「排放量」與



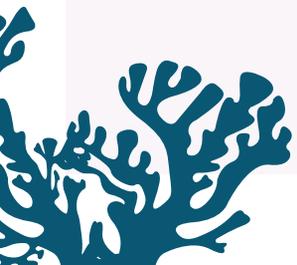


各種產業生產過程中皆會排放溫室氣體。

「回收量」互相抵銷為零。但實際上如以目前各國排放狀況進行估算（含《巴黎協定》簽約國各自承諾的碳減排總和），至本世紀末仍有可能升高攝氏3~5度，屆時所帶來的影響與災損將難以估計。

雖然前景看似悲觀，但至少以歐美為首的多數先進國家已願意開始著手產業政策調整、科學技術開發、貿易關稅限制等措施，改變正逐漸發生。反觀臺灣作為小型海島國家，天然資源及國土幅員實為缺乏，必須更加積極因應氣候變遷所帶來的風險。故我國雖非聯合國成員，仍以非政府組織層級參與討論交流，並已開始規劃碳管制措施，如盤查登錄（納管排放源定期盤查並登錄至指定平臺以供查證）、效能標準獎勵（納管排放源採行減碳措

施符合效能標準可獲得排放額度）、總量管制與排放交易（提供納管排放源交易排放量之平臺）以及徵收碳費或碳稅。至於碳稅與碳費的差異，依性質主要是分為稅收與規費，若屬稅收的碳稅，其收入會進入國庫供政府分配使用，用途則不限於減碳方面之措施；若屬於規費的碳費，則是實務上用以實現「碳訂價」的一種方式，可將生產營利過程所排放的溫室氣體，對環境造成的損害成本予以內部化，促使利害關係人進行決策時能夠將排碳的成本納入考量，進而減少排放量，所收取之費用將設置專款專用於溫室氣體減量工作、發展低碳與負排放產業及補助獎勵投資溫室氣體減量技術等，行政院環境保護署也在修法預告指出，目前我國正朝制定碳費機制方向研議。



三、最不起眼的藻類卻有最亮眼的發現

時至今日，各國政府及科學家皆為了減緩「末日時鐘」的倒數而焦頭爛額，不論是以機械設備移除大氣中的二氧化碳，或是以化學方法捕集二氧化碳形成岩層，甚或是利用藻類吸收二氧化碳的機制，在在顯示科研機構正無所不用其極，盼能讓地球再度冷卻降溫。前述藻類主要分為肉眼可見之大型海藻（如海帶、紫菜等），或是需使用顯微鏡才能觀察的微藻（如綠球藻、螺旋藻等），因其為可利用二氧化碳行光合作用的植物體，且具快速生長繁殖的特性，已引起科學界的關注。說到藻類也許一般民眾並不十分瞭解，回溯至4,900萬年前，當時地球大氣中所含的二氧化碳濃度是現在的百倍以上，但是原本炙熱的地球卻每隔數十萬年便會進入一次冰河時期，這樣的情形其實與藻類有關。經科學家研究海洋藻類化石岩層後，發現海藻會定期且大量移除大氣中的二氧化碳，如果我們能利用藻類所蘊含的這項潛能，是否能逆轉目前全球逐漸暖化的趨勢？這是科學家所提出的疑問。

為了降低溫室氣體所帶來的暖化危機，我們願意付出多少代價，任何一項重大選擇與決策，在權衡利弊得失之際，實為一道大哉問。如果想利用藻類固碳的特性拯救地球，在推動之前必須先在科技、生態、經濟、政

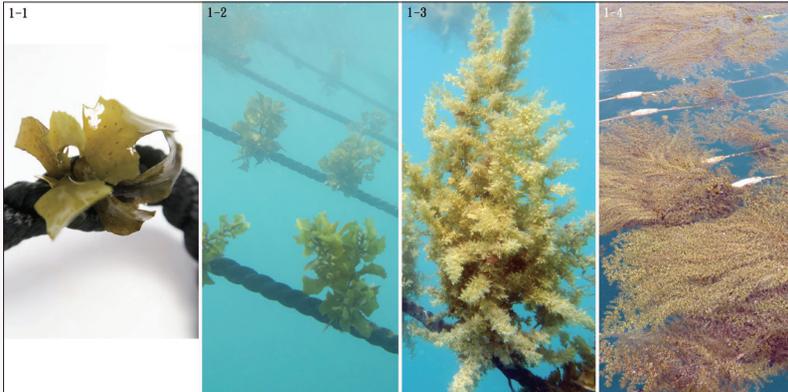
治等各方面進行通盤考量，目前在藻類培養與應用方面尚有許多未知領域及技術問題需要克服，例如微藻已被發現可作為燃料（如生質柴油、生質酒精等）、材料（如發泡塑膠、碳纖維等）與蛋白質藥物（如疫苗、標靶藥物等）等，但卻往往在發表後無疾而終，可見我們距離普及應用仍有很長的路要走。

相較於難以收集的微藻，大型海藻除了容易採收與加工外，所蘊含的應用潛力亦很雄厚。傳統上海藻的利用方式包括直接作為食材、肥料或中藥材等，進一步還可萃取特定成分，作為天然色素（如藻藍蛋白）、食品添加劑（如海藻膠）以及健康食品（如海藻多醣），其富含蛋白質且生長快速的特性，相比於飼養動物來說，除蛋白質製造效率極高外，對環境也更為友善，因此已被納為「植物肉」開發應用之原料。

選擇海藻當作固碳工具有許多優點，在場域方面，如以海洋生態作為考量的話，人工海藻床是選項之一，



肉眼可見的海藻（左）與需利用顯微鏡才能觀察的微藻（右）。



透過人工培育海藻進行藻床復育對海洋生態大有裨益。



可以在沿近海劃設一處保護區，投放人工培育的海藻進行「海中造林」，除可捕捉二氧化碳、淨化水質、製造氧氣外，還可提供海洋生物棲息、覓食、避敵、繁殖等場域，對於增加生物多樣性及族群數量都有正面效益。若選擇在沿岸臨海陸上難以開發利用的土地進行高密度海藻栽培，以商業生產藻體為營利目標，依其生長快速的特性來看，所產生的生物質也會相當可觀。

除了上述應用外，近年來更有科學家嘗試將一種稱為海門冬 (*Asparagopsis* sp.) 的紅色海藻，乾燥後添加 1% 至牛、羊等反芻動物飼料中，結果顯示可以大幅降低其腸道發酵所產生的甲烷之排放，這項發現讓各界眼睛為之一亮，因為甲烷的溫室能力為二氧化碳的數十倍，全球數以億計的畜牧產業是除了農業生產外最大的甲烷排放源，而甲烷的半衰期長達 10 年，如能透過添加海門冬的方

式消除甲烷排放，減緩全球暖化的效果將會快速又顯著！

四、搶占海藻產業市場先機

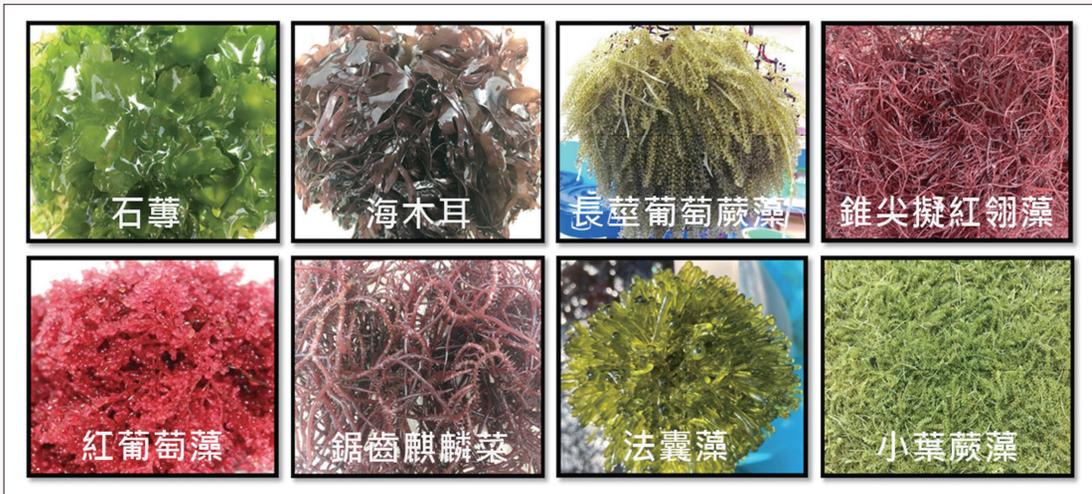
雖然海門冬具有這麼神奇的效果，但現實層面仍有許多需要克服的問題陸續被提出。首先海門冬生長具有季節性，在臺灣每年只有冬末春初幾個月的期間會在野外出現，再者其野外族群量不多且分布範圍相當零散，在尚未開發出人工量產技術前，僅能在特定季節在特定海域以人工方式進行採集，相當耗費人力及時間，且產量仍不足以供應牛羊食用。根據實驗指出，一頭牛每餐至少需吃 80~100 公克乾重的海藻，換算下來 1 年需要 300 公斤的新鮮海藻，以臺灣目前養殖牛數約為 16 萬頭、羊數 13 萬頭，需要添加的海藻數量絕非野外採集方式所能負擔。有鑑於近年淨零排碳已成全球共識，各國政府刻正規劃

碳稅(費)、碳交易等機制，未來畜牧產業也可能會受到管制或徵收相關費用，為因應背後所蘊含的龐大商機，各國已陸續成立新創組織以投入海門冬養殖產業，如澳洲的Sea Forest、Australis Aquaculture、瑞典的Volta Greentech；美國的CH4 Global或是夏威夷的Symbrosia、Blue Ocean Barns等。目前各國對於海門冬的商業化養殖技術尚未成熟，而臺灣的相關研究亦是闕如，如想搭上淨零風潮，在兼顧經濟發展及環保永續的同時，還能搶占減碳商機，儘早投入開發海門冬繁養殖技術開發勢在必行。

行政院農業委員會水產試驗所(簡稱水試所)從事海木耳(*Sarcodia suiae*)、海葡萄(*Caulerpa microphysa*)、錐尖擬紅翎藻(*Agardhiella subulata*)、石蓴(*Ulva lactuca*)、法囊藻(*Valonia aegagropila*)、馬尾藻(*Sargassum hemiphyllum* var. *chinense*)等大型海藻研究多年，已逐步建立其人工養殖技術。例如可供涼拌、炒蛋、煮湯等多樣料理手法的海木耳，是屏東小琉球海域傳統美食之一，但因氣候變遷及採集過量，資源量已大為銳減，甚至瀕臨絕滅，因此水試所著手研發養



水試所成功於臺灣海域採獲海門冬種原並嘗試進行養殖技術開發。



水試所目前保有之海藻種原並將持續開發各項海藻養殖技術。

殖技術，在實驗室將採集回來的藻體進行馴化培養，並探討溫度、光照、鹽度與營養鹽等對其成長的影響，後續依據自然生態環境設計合適的養殖槽，完成戶外量產模式，經過多年的努力，建立了陸上槽式海木耳養殖技術，目前已可人工量產海木耳，技轉民間企業後，市面上已有不少相關產品上市。有了前述海藻養殖知識與經驗的多年累積，水試所未來持續投入包含海門冬在內的各種海藻培育技術研究，盼能開發利用臺灣海域所產海藻資源，輔導養殖產業轉型發展，同時也為淨零減碳願景盡一份心力。

五、結語

生活在現代「水泥叢林」的都市人，或許因常處於室內空調下，而對於溫室效應的感受並不強烈，然而根據《自然氣候變遷》(Nature Climate Change) 期刊先前刊登的研究，氣

候變遷正造成遠在地球北端的北極熊覓食困難、飢餓致死，預料80年內可能發生物種滅絕危機，而這只還是眾多受害物種中的冰山一角；此外，全球最冷的南極冰穹C (Dome C) 在今(2022)年3月18日位於海拔3,489公尺的沃斯托克 (Vostok) 站點，溫度監測結果顯示高達攝氏-17.7度，去年同一時段則為-57.9度，差異多達40.2度，這個現象非常罕見且違反既有的氣候理論，顯見全球氣候紊亂已成事實。

亡羊補牢，猶未晚矣。《戰國策》所載的千古名句，說明了傷害及損失雖然已經造成，但只要即時採取彌補措施，永遠不嫌晚。所幸科學家及各國政府已經意識到無形的危機正在逼近，在我們採取各項減碳措施的同時，不妨利用一下臺灣身為海島型國家的優勢，將包含藻類在內的海洋藍碳資源發揮到淋漓盡致，趁藻（早）展開淨零減碳行動！

