

別再放臭屁！漫談紅色海藻—海門冬之妙用

許自研、吳豐成

水產試驗所東港生技研究中心

前言

近年來全球平均溫度不斷上升，過去長年冰天雪地的北極圈在今年竟飆出 38°C 高溫，各地冰川接連融解崩塌，人們除了關心討喜可愛的北極熊生存危機以外，更應該留意全球暖化對於人類所造成的負面影響，例如海平面上升、極端氣候頻仍，這將導致沿海地區遭受淹沒、糧食供應發生短缺等嚴重問題。全球暖化的原因主要是人類活動排放二氧化碳、甲烷 (methane, CH₄) 等大量溫室

氣體而導致溫室效應加劇 (圖 1)，自工業革命以降，二氧化碳濃度多了 35%，而甲烷含量則上升了 2.5 倍之多，藉由同位素分析，可以判斷，二氧化碳的大幅增加主要因為燃燒石化燃料所產生，另外，則是來自於農業及畜牧產業。甲烷通常是在農作物、牲畜飼料或糞便等有機物無氧分解的過程中產生的，佔農業總排放量的 50% 左右。

另一方面，牛、羊等反芻動物 (ruminant) 腸道發酵所產生的氣體，則是畜牧產業中最大的甲烷排放源。牛和其它反芻動物之所以

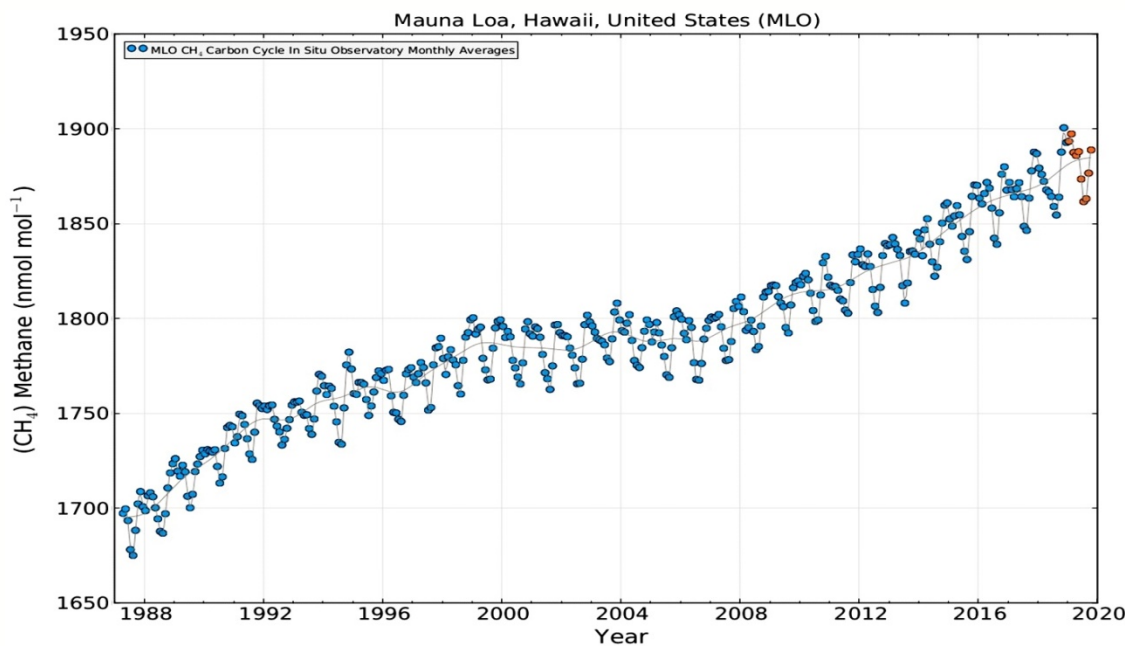


圖 1 近 30 年來大氣中甲烷含量呈現上升趨勢 (紅點為初步數據) (資料來源：NOAA)

能透過吃草維生，主要即是能在胃部細菌的幫助下消化富含纖維素的食物，而在消化反芻過程中，瘤胃裡的細菌通常會透過酶的作用產生甲烷，這麼一來動物在產生甲烷廢氣時就浪費了食物 2–15% 的能量。甲烷的產生代表消化效率不佳，同時也會透過打嗝或放屁造成溫室氣體的排放。為了解決畜牧業長年來的沉痾，各國學者皆投入大量心力進行研究，近來有學者發現如將蘆筍藻 (*Asparagopsis taxiformis*) 添加至飼料中，可能具有減少反芻動物甲烷排放量的潛力，這項研究的發表，對於被人詬病已久的畜牧產業來說，帶來了一絲希望的曙光，至於在飼料中添加海藻的這個點子，是否代表畜牧業的原罪可以跟著甲烷一起消除呢？這是各界心中共存的疑問。

紅色海藻—海門冬

蘆筍藻又稱海門冬，係屬紅藻門 (Rhodophyta) 真紅藻綱 (Florideophyceae) 柏安藻目 (Bonnemaisoniales) 柏安藻科 (Bonnemaisoniaceae) 之一種紫紅色海藻，形態上有直立莖、匍匐莖之分。直立莖呈圓柱狀且分枝少，下部不分枝，上部為密集輻射狀的羽狀分枝，再由分枝的頂端長出許多細毛狀小枝，彷彿是生長在海中的迷你版落羽松 (圖 2)；匍匐莖向下生出如假根一般的固著器，幫助自己攀附在礁岩生長，以抵禦海浪、海流的沖襲；藻體為單軸型且相當柔軟，高度約為 10–20 cm，橫切面有一個大的中軸細胞，外層則有圓形細胞包圍構成皮層。

海門冬廣布在全世界暖溫帶和熱帶海



圖 2 海門冬水下生長情形
(資料來源：Jean-Pascal Quod)

域，例如太平洋熱帶海域，韓國、日本、琉球群島、中國東南沿海、臺灣、馬來西亞、菲律賓、夏威夷等，皆可發現其生長蹤跡，臺灣則主要產於恆春半島、東北部、小琉球、綠島、蘭嶼及澎湖。該藻生長在低潮線至潮下帶 1–2 m 深的岩石上，每年 1–5 月為盛產期，夏季成熟後即較少出現。

多數大型海藻具有世代交替 (alternation of generations) 的生活史，即在生活史中由配子體 (gametophyte) 世代及孢子體 (sporophyte) 世代規律地互相交替出現 (圖 3)，一般紅藻的生殖方式主要分為無性及有性兩種，前者將孢子釋放到水中，如果孢子遇到合適的基質 (substrate)，便附著在其上開始生長，過程較為單純；後者則涉及到具單套染色體的配子體和雙套的孢子體等兩個階段。

海門冬因其配子體較大且雌雄異體，孢子體則較小，故為異型世代交替 (heteromorphic alternation of generations)。在海門冬的配子體世代中，雄性生殖結構 (spermatangium) 產生的雄配子是不動精子 (spermatia)，不具備鞭毛，需藉助水流移動；雌性生殖結構 (pericarp) 產生的雌配子為果孢卵 (carpogonium)，其上具有稱為受精絲

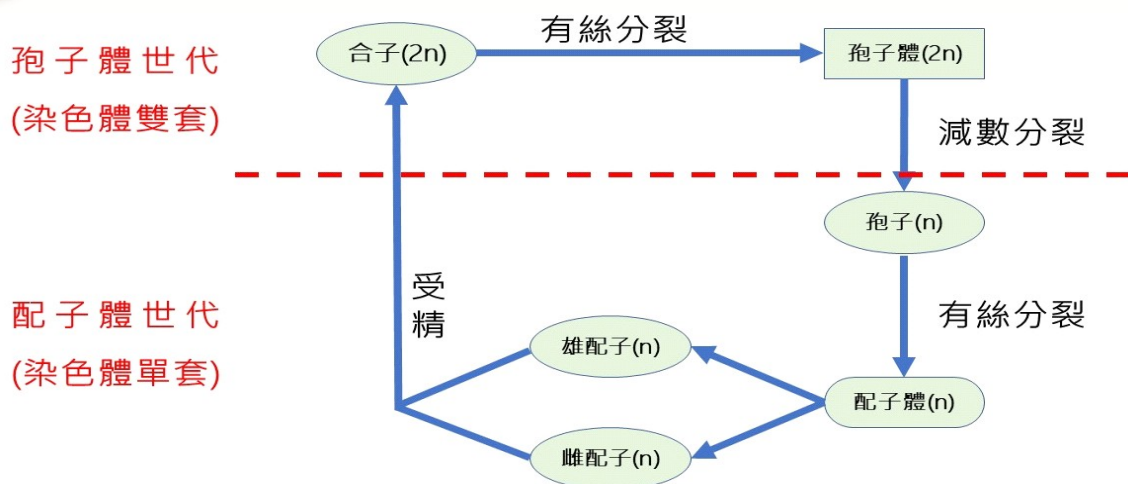


圖3 多數大型海藻世代交替簡圖

(trichogyne) 的突起，用於接受精子。當精子接觸到受精絲並結合後，雄核經由受精絲向下移動到雌核並與之融合，形成的二倍體 (diploid) 合子；而在孢子體世代中，合子透過有絲分裂產生果孢子 (carpospores)，果孢子從親本配子體釋放到水中，附著在某處生長為四分孢子體 (tetrasporophyte)，再通過減數分裂產生單倍體 (haploid) 的四分孢子 (tetraspore)，其又會發育為配子體，從而完成「配子體－果孢子體－四分孢子體」這三個階段的世代交替。

海門冬的應用

據中國江蘇省植物研究所編纂之「新華本草綱要」所載，海門冬為中國傳統中藥材的一種，主要在沿海地帶的夏、秋兩季進行採收並去除雜質，洗淨後曬乾保存，常用入藥方式為乾燥藻體進行煎藥去渣後，喝其湯汁，每日用量為 9—15 g，味道較辛且略帶苦鹹，屬於性味平和的一味中藥材。其主要功

效為清熱解毒、清瘀散結，常用於治療癭瘤 (生在皮膚、肌肉、筋骨等處的腫塊)、癩癧 (淋巴腺結核) 等病症。

海門冬除了對人體有醫藥用途之外，Marino 等 (2016) 進行該藻萃取物質抗菌活性測試發現，其對鮭產氣單胞菌 (*Aeromonas salmonicida* subsp. *salmonicida*)、溶藻弧菌 (*Vibrio alginolyticus*) 及創傷弧菌 (*V. vulnificus*) 抗菌活性相當高，另對美人魚發光桿菌美人魚亞種 (*Photobacterium damsela* subsp. *damselae*)、發光桿菌 (*P. damsela* subsp. *piscicida*) 哈維弧菌 (*V. harveyi*) 及副溶血弧菌 (*V. parahaemolyticus*) 則有不錯的抗菌活性，並將帶有藻體組織或提取物的飼料投餵海鱸魚及金頭鯛後，經血液生化分析亦無發現不良影響，因此該藻可能具有治療魚類細菌性疾病的潛力。

此外，這種海藻在夏威夷被稱為「limu koku」，意思是令人愉悅的海草，其具有特殊香味，非常適合作為生魚肉、生肝和燉牛肉的調味料，但當地目前並沒有人從事海門

冬的養殖，主要的來源都是在鄰近海岸進行野生採集，人們常在收穫該藻後，將其浸入淡水中使其變得更為辛辣後，再進行醃製、乾燥、搗碎，最後揉成小球狀以進行存儲和保存，時至今日在市場上已經很難買到完整新鮮的藻體，大多都是經過加工後的調味品。

當地民眾進行野外採集時，多數人並不清楚要怎麼採收才不會對海門冬族群造成損害，因此這樣的採集活動對於野生藻群的存續將有著相當大的隱憂，如果想確保當地的藻群能永續生存下去，採收時必須確保不能傷害到藻體根部，而是從莖桿處俐落地折斷或切斷，並將莖桿在礁石的表面進行搓揉，讓藻體將孢子釋放到水中，以利海門冬能在原地繼續繁殖生長。

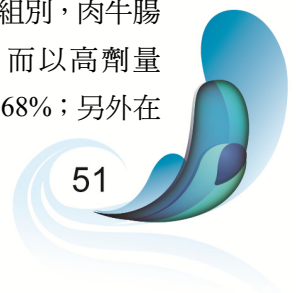
海門冬除了食用價值以外，夏威夷人也利用它製成香精油，Burreson 等 (1976) 發現以海門冬為主成分製成的精油，含有 80% 的三溴甲烷 (bromoform, CHBr_3)。雖然還不清楚三溴甲烷對人體的具體功效為何，但近來有學者發現三溴甲烷能與維生素 B_{12} 產生化學作用，抑制反芻動物 (如牛、羊等) 胃中細菌在消化過程中，使用酵素分解纖維質而產生甲烷。

據稱這項研究的最初靈感主要是來自於加拿大農夫 Joe Dorgan，他在 2005 年無意間發現其放牧在沿海的牛隻比其它內陸牧場的牛更容易受孕，產奶量也更多，因此創立了「北大西洋有機產品公司」，提供海藻給內陸牧場的牛隻取代部分牧草為食。而讓牛隻吃海藻的這股風氣也因此傳了開來，這消息引起了澳洲學者 Kinley 等人的注意，為釐清箇中奧秘，他們設計了一系列實驗。

Kinley 等 (2016) 首先在實驗室做出體外模擬裝置進行發酵實驗，並發現這些從海灘上收集而來的海藻，能減少裝置內 16% 的甲烷生成，因此他們開始收集並篩選多種海藻，測試對反芻動物甲烷排放的影響，最後發現在模擬牛胃的體外裝置中添加海門冬劑量為 1% 時，可顯著減少甲烷生成；當添加劑量在 2% 以上時，可大幅抑制甲烷生成，同時對草料的發酵效率影響最小。X. Li 等 (2016) 在前項實驗基礎上，以綿羊為實驗對象，發現只要添加 1% 的海藻便能使羊的甲烷排放減少 53%，倘添加至 3% 則可減少 80%，雖然本次在活體嘗試的實驗結果，並沒有前項體外裝置模擬實驗這般高效，但仍有相當不錯的抑制效果。

Roque 等 (2019) 則以乳牛為實驗對象，並將 12 頭乳牛隨機分為 3 組，分別以含有不同劑量海門冬有機質的飼料 (0、0.5 及 1%) 持續投餵 3 個週期，每週期 21 天。結果發現，以低劑量 (0.5%) 飼料投餵的組別，乳牛的甲烷排放量減少了 26.4%，而以高劑量 (1%) 投餵的組別，則減少了 67.2%；另外，該研究為確認海門冬所含三溴甲烷是否會透過攝食而影響乳牛品質，測量了實驗組及對照組之乳牛所泌乳汁中三溴甲烷之含量，結果顯示並無並無顯著差異。

緊接著，Roque 等 (2020) 改以肉牛作為實驗對象，將 21 頭肉牛隨機分為 3 組，分別以含有不同劑量海門冬有機質的飼料 (0、0.25 及 0.5%) 持續投餵 147 天。結果發現，以低劑量 (0.25%) 飼料投餵的組別，肉牛腸道的甲烷產量減少了 45%，而以高劑量 (0.5%) 投餵的組別，則減少了 68%；另外在



肉質方面以切片剪切力法 (slice shear force, SSF)、Warner-Bratzler 剪切力法 (Warner-Bratzler shear force, WBSF) 及感官品評進行嫩度比較，結果顯示並無顯著差異。綜之，以海門冬藻體或其提取物作為畜牧飼料添加劑，在反芻動物甲烷排放量方面不僅有顯著改善效果，對於所產牛乳及肉質亦無不良影響。

結語

在氣候變遷日益嚴重之際，各國學者紛紛提出減緩全球暖化的方法，不論是主動的碳捕集與封存 (carbon capture and storage, CCS) 或是被動的減少溫室氣體排放，都是為了降低人類活動對全球環境的影響，以期能在科技進步的同時與大自然永續共存。原本乏人問津的海門冬，意外在這項甲烷減排研究中嶄露頭角，雖然目前的試驗成果令人相當滿意，但實際應用在畜牧業的成效究竟如何，還有待專家學者進一步深入研究。

另一方面，海門冬目前仍倚靠人工野外

採集，除了族群隨著季節消長以外，採集量也相當有限，即便只需要添加 1% 的海門冬在牛羊飼料中便能有顯著的甲烷減排效果，但要滿足畜牧業如此大量的原料需求仍是相當困難的一項挑戰，因此建立海門冬養殖量產技術，勢必成了落實這項願景的首要之務。

海門冬是我國常見海藻之一，但近年隨著人為開發以及海水暖化等問題，導致野外族群量逐年減少，實際走訪臺灣西南外海的小琉球 (圖 4) 進行勘查，可以發現往年會出現海門冬的季節卻不見其蹤影，詢問當地居民後得知原來近年來附近海域水溫太高，海藻僅在冬天短短幾個月內較常出現，其他季節在潮間帶進行生態導覽時，很難看到過去海藻繁生的光景。

海門冬等海藻富有經濟價值，不論醫療保健、養顏美容、入菜佳餚甚至是飼料添加，都有相當廣泛的應用前景，亟待進一步研究開發。然而臺灣本為海藻資源豐富的島國，為因應極端氣候的影響，若能及早建立高經濟價值海藻養殖技術，對商業應用、觀光旅遊、產業推廣甚至生態保育都大有裨益。

圖 4 屏東縣琉球鄉周邊海域擁有多處潮間帶