



屏東海域海門冬成分分析及人工馴養初探

許自研、吳豐成

水產試驗所東港生技研究中心

前言

時至今日，隨著全球人口數不斷增加，人類的發展也更加活躍，不論是糧食或是能源供應都將出現危機，且更迫切的是人類活動所造成氣候變遷加速的問題，如果全球均溫上升 1.5°C，恐將造成熱浪、風暴、乾旱、海平面上升及瀕危物種滅絕等災難發生，因此為減少碳足跡，我們可以先從生活小事做起，例如響應「吃當季、買在地」的樂活 (Lifestyles of Health and Sustainability, LOHAS) 飲食觀念，除了減少不必要的長途運輸及溫室培養等能源成本外，同時還能享受當季食材營養美味又平價的好處。

屏東縣所轄海域擁有多種富營養及高經濟價值之海藻資源，本所亦曾對石蓴、海木耳、海葡萄及錐尖擬紅翎藻等海藻進行培養相關基礎研究，並已取得初步成果。依據國立臺灣博物館—臺灣海藻資訊網資料顯示，該海域所產海門冬 (*Asparagopsis* sp.)，在世界各地有多種應用方式，例如食用、藥用、調味用、飼料添加用及萃取製成精油 (Burreson et al., 1976) 等具發展潛力方式。Kinley 等 (2016) 更發現該藻具有大幅抑制反芻動物排放甲烷的功效，不僅可望免除畜牧業長年以來備受指謫之沉痾，同時也在全球各國推展「淨零排放」之際，提供了一盞

明燈。

由於該藻培養技術尚未確立，主要依靠人工採集野生藻體，進行挑選汰除，再將剩餘品質較佳藻體進行加工，不僅費時耗力，又深受季節性影響。隨著全球氣候變遷及棲地改變，各地野生海藻資源已有逐漸枯竭的現象，不僅難以確保海門冬穩定供應，連帶影響品質，將嚴重危害生態平衡及產業發展。具有如此龐大應用潛力之海門冬在我國的基礎研究仍舊闕如，為確立培養所需條件以穩定生產、降低成本及進一步擴大規模，本研究將進行各項基礎試驗，以協助產業克服發展瓶頸，並提供未來開發應用之參考。

藻體收集

從屏東縣琉球鄉杉福漁港海域及恆春鎮合界潮間帶兩處採獲海門冬 (*Asparagopsis taxiformis*) 藻體。在琉球鄉杉福漁港周邊海域，海門冬主要生長月份為 2—5 月，3 月最為繁盛，本研究雖自 1 月始得採獲，但從藻體大小及文獻資料可推知，該藻應在 11 月底即開始生長；另在恆春鎮合界海域方面，3 月尋獲該藻，但在 5 月時，在潮間帶則未再發現蹤跡，且亦以 3 月最為繁盛 (圖 1)。

採獲之藻體連同原棲地海水置於保冷箱中，避免溫度上升，儘速攜回後立即以新鮮

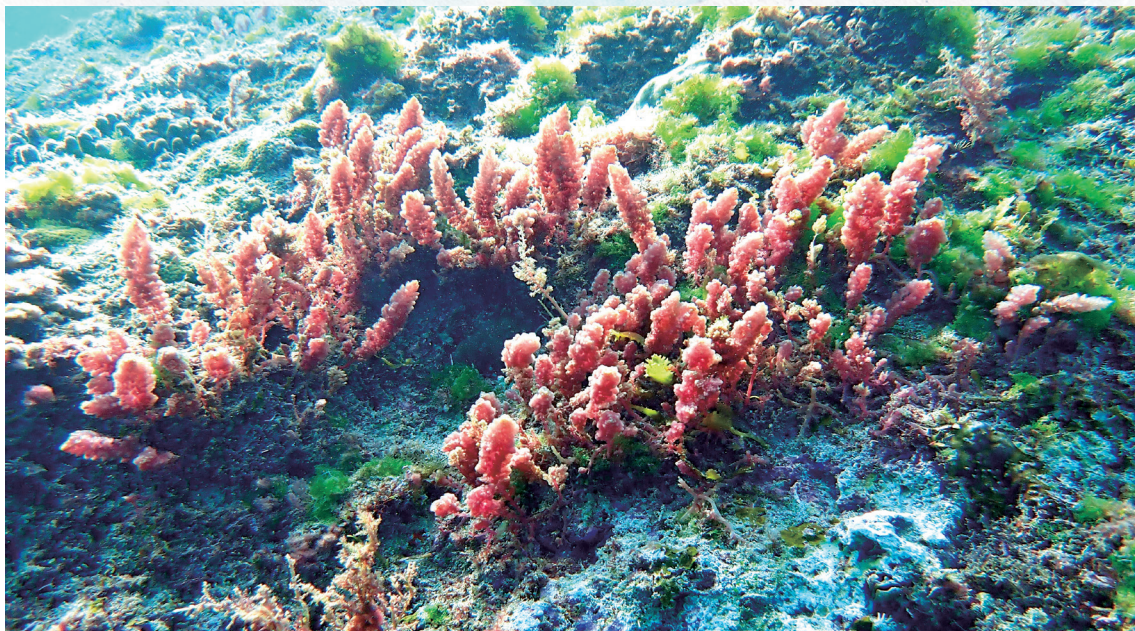


圖 1 屏東海域野生海門冬生長情形

乾淨之海水進行表面清潔與消毒，一部分藻體置於玻璃纖維桶以戶外光照、流水及打氣方式進行馴化培養；另一部分藻體則以烘箱(40°C) 進行熱風烘乾，再以粉碎機打成粉末狀，作為後續成分分析之用 (圖 2)。



圖 2 採回藻體進行清潔與烘乾

人工馴養測試

本研究調查並記錄了海門冬棲地海域水質環境，全年鹽度約為 35 psu，pH 8.3，在冬末春初特別繁盛，該季節水流平穩、光照充足且維持較低水溫，藻體以固著器生長於礁岩或纏附其他海藻上，主要營養鹽（氨氮、亞硝酸鹽、硝酸鹽、正磷酸鹽）則常年維持在極低濃度，故推測有季節性生長情形，應與溫度與光線較有關。

在馴養過程中發現，若以小型容器在恆溫生長箱培養，不論是否鋪設底沙，藻體幾無活存，並伴隨強烈特殊氣味，應是藻體不適應環境而白化破裂，所釋出之物質導致水質快速惡化；若置於戶外以桶槽溢流方式進行培養，則較有機會活存。另外，培養過程中藻體雖已進行消毒，但仍深受其他生物危害，如遭受黑邊海兔 (*Aplysia parvula*) 啃食



或楔形藻 (*Licmophora* sp.)、褐茸藻 (*Hincksia mitchelliae*)、石蓴 (*Ulva lactuca*) 及腸滯苔 (*Ulva intestinalis*) 等覆蓋 (圖 3)，其中尤以黑邊海兔所造成危害最為嚴重。值得一提的是學者 Verges 等 (2008) 發現因海門冬配子體雌株所含化學防禦物質濃度較雄株高，故黑邊海兔僅喜愛啃食雄株，而不嗜食雌株。

本研究在培養過程也觀察到海門冬世代交替之過程，該藻配子體為雌雄異株，當配

子體成熟後，雌株母體上會產生果胞 (carpogonium)，當其所伸出之受精絲 (trichogyne) 一旦沾附漂流的精子時，便會受精等待成熟並釋放出果孢子 (carpospore)，進而發育成呈現粉紅絲狀絮團的四分孢子體 (tetrasporophyte，又稱 falkenbergia-phase)。該階段在早期曾被生態學家誤認為其他藻種 (*Polysiphonia hillebrandii* Bornet, 1883、*Falkenbergia rufolanosa* (Harvey) F. Schmitz, 1897)，直到後續發現此為海門冬世代交替的

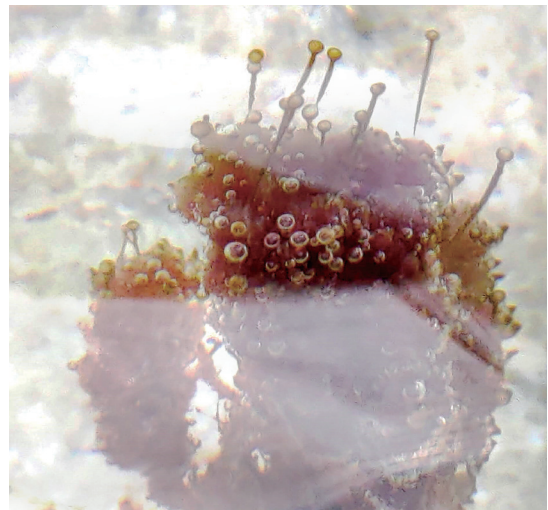


圖 3 馴養過程遭逢各種挑戰

左上：黑邊海兔啃食；右上：附著矽藻覆蓋；左下：適應不良白化；右下：褐茸藻纏繞

階段之一，始逐漸瞭解該藻生命週期之真實全貌。而四分孢子體之所以會有此稱呼，係因其絲狀藻體細胞會隨著發育而呈現四分裂狀態，並逐漸發展成四顆四分孢子(tetraspore)進行釋放。有趣的是這四顆四分孢子的性比為1:1，即其中兩顆會在未來發育成雄株配子體，另兩顆則為雌株配子體，繼續為族群的繁衍盡一份心力(圖4)。

成分組成測定

本研究以不同地域及季節之海門冬藻體進行成分分析比較，一般成分如表1所示，藻體灰分以小琉球冬末及春初之海門冬顯著高於恆春春初之海門冬；粗蛋白方面則以恆春春初之海門冬顯著高於其他兩者；最後粗脂肪組成仍以恆春春初之海門冬含量最多。

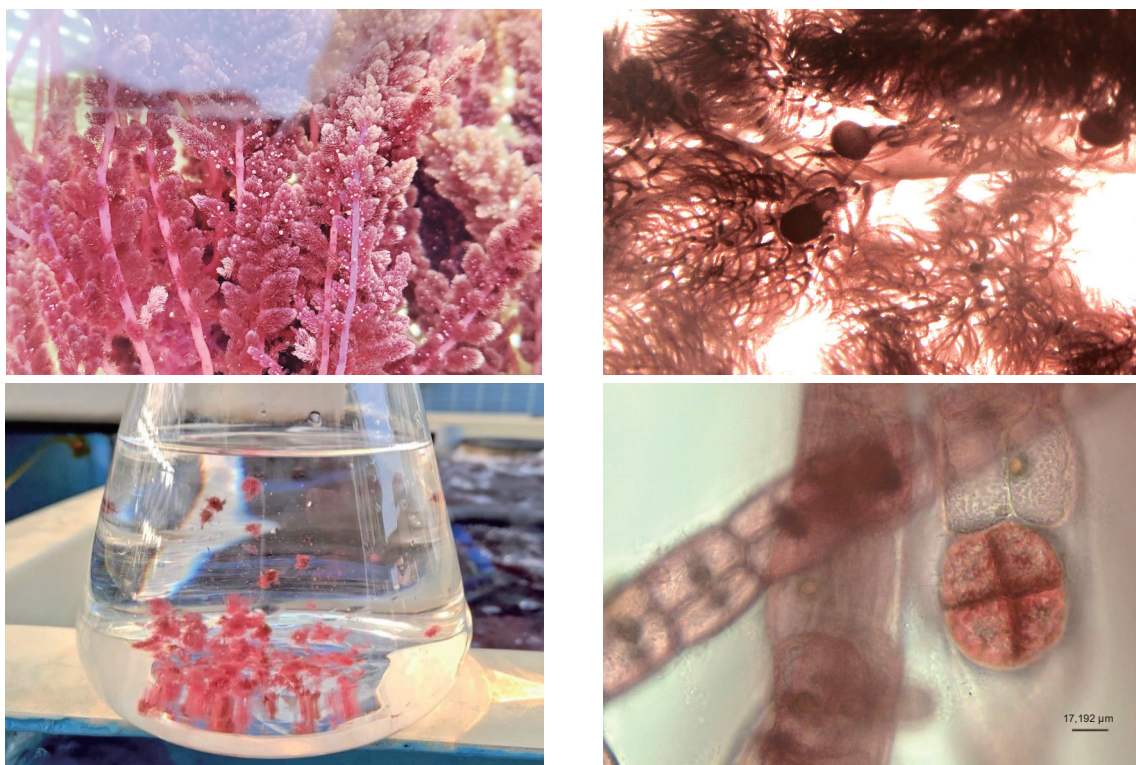


圖4 本研究觀察到海門冬世代交替過程

左上：肉眼觀察果胞枝為白點狀；右上：顯微鏡下果胞枝呈球狀；左下：肉眼觀察四分孢子體呈粉紅絮團狀；右下：顯微鏡下呈十字型分裂的四分孢子

表1 不同地點季節產之海門冬一般成分組成分析 ($n=2$, $p<0.05$)

	海門冬 (小琉球, 冬末)	海門冬 (小琉球, 春初)	海門冬 (恆春, 春初)
灰分 (% DM)	34.04±0.19 ^a	32.81±0.64 ^a	17.97±0.31 ^c
粗蛋白 (% DM)	20.14±0.46 ^b	19.3±0.16 ^b	24.89±0.43 ^a
粗脂肪 (% DM)	0.5±0.01 ^b	0.54±0.07 ^b	2.07±0.19 ^a



國外學者 Roque 等 (2019) 及 Brooke 等 (2020) 分析當地海門冬藻體，皆與本研究所得小琉球藻體之粗蛋白及粗脂肪數據相似，卻與恆春海域相異，可見該藻雖在各地海域中生長，但天然環境變化與區域系群特性對於藻體粗成分組成的影響應有一定程度影響，後續如確立人工培養技術，或可藉由調控環境條件進行比較。

至於恆春地區之海門冬粗蛋白及粗脂肪含量顯著較小琉球藻株來得高，若仔細觀察，會發現兩處所採藻體外觀形質雖極為相似，但若細察則略有不同 (圖 5)，是否在基因表現上有其差異，未來或可輔以分子鑑種方式加以確認。

海門冬係屬紅藻，除了葉綠素及類胡蘿蔔素外，所含之藻膽蛋白分為藻紅蛋白及藻藍蛋白，其中藻紅蛋白具有光敏作用 (photosensitization)，是海洋藻類中重要的捕光色素蛋白之一，經適宜波長的光激發後可以產生單態氧及其它氧自由基，殺傷生物大分子，為一種高效、無毒及無副作用的物質，

可望開發為有實用價值的新型藥物。另一方面，藻藍蛋白屬新型天然色素，隨著人們對健康生活的重視，天然色素的市場需求有越來越迫切趨勢，其與蝶豆花 (*Clitoria ternatea*) 水提取物同為美國食品藥品監督管理局 (Food and Drug Administration, FDA) 唯二認可的天然藍色色素。檢測結果顯示，海門冬藻體所含葉綠素 a 為 123.45 $\mu\text{g/g}$ 、類胡蘿蔔素為 5.28 $\mu\text{g/g}$ 、藻紅蛋白約為 135.09 $\mu\text{g/g}$ 及藻藍蛋白約為 9.77 $\mu\text{g/g}$ 。

海藻含有許多特殊生物活性物質如多酚類 (polyphenol)、吲哚類 (indole) 及萜類 (terpene) 等化合物，而海藻多酚係指從海藻中提取出來的多酚類化合物總稱，因具有獨特的生理功能，近年來成為酚類領域的研究重點。本研究檢測結果，藻體所含總多酚量以恆春春初之海門冬顯著高於其他兩者 (表 2)，整體看來，海門冬的多酚含量並不算豐富，但 Manilal 等 (2013) 用海門冬提取物所製備的飼料，針對斑節蝦 (*Fenneropenaeus chinensis*) 免疫系統的體內調節作用進行研

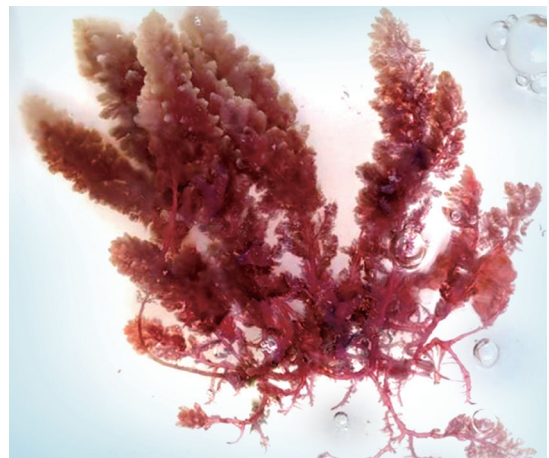


圖 5 左圖：恆春所採海門冬藻體上部分枝較為尖細，且顏色較為鮮紅；右圖：琉球所採藻體分枝則較為圓潤，顏色較偏紅褐色

究，發現給蝦投餵 28 天含有效劑量 (850 mg/kg) 藻提取物之飼料，與一般飼料作為對照組飲食相比，處理過的斑節蝦顯示出白血球數、吞噬作用、凝集作用、殺菌活性及酚氧化酶原 (prophenoloxidase, proPO) 活性皆獲得提升，故推知海門冬提取物對斑節蝦的免疫系統具有顯著的影響。

另外，張等 (2012) 檢測四種經濟海藻脂肪酸組成，分別為鼠尾藻 (*Sargassum thunbergii*)、滯苔 (*Enteromorpha intestinalis*)、

龍鬚菜 (*Gracilariopsis lemaneiformis*) 及紅毛菜 (*Bangia fuscopurpurea*)，其脂肪含量在 1.2–1.9% 之間，不飽和脂肪酸 (unsaturated fatty acid) 均達 60% 以上，其中又以多元不飽和脂肪酸 (polyunsaturated fatty acids, PUFA) 為主。

至於本研究檢測海門冬所含脂肪酸組成如表 3 所示，皆以飽和脂肪酸為主要成分，其中較為重要的 PUFA 部分，皆低於前述鼠尾藻等 4 種海藻。

表 2 不同地點季節產之海門冬總酚含量檢測 ($n = 2$, $p < 0.05$)

	海門冬 (小琉球，冬末)	海門冬 (小琉球，春初)	海門冬 (恆春，春初)
總 酚 (ppm)	0.029 ^b	0.026 ^c	0.050 ^a

表 3 不同地點季節產之海門冬及海木耳脂肪酸組成檢測分析

	海門冬 (小琉球，冬末)	海門冬 (小琉球，春初)	海門冬 (恆春，春初)
飽和脂肪酸 SFA	0.299±0.017	0.448±0.16	0.369±0.005
單元不飽和脂肪酸 MUFA	0.077±0.002	0.099±0.058	0.087±0.002
多元不飽和脂肪酸 PUFA	0.007±0	0.005±0.002	0.005±0

結語及未來展望

本研究在臺灣屏東海域之恆春半島及小琉球皆順利採獲海門冬藻種，目前已掌握關鍵因子並成功馴化培養。在各項成分組成顯示，海門冬具高蛋白質及低脂肪的營養特性，而總酚含量不高。另外在小琉球及恆春兩處之藻體組成略有不同，是種間差異或是棲地環境影響，則需進一步研究。

海門冬現已被證實能作為飼料添加物，並有效降低反芻動物排放甲烷，若未來各國政府為因應淨零排放之全球目標，欲將畜牧

業生產之外部成本內部化，進行碳稅(費)之徵收，畜牧業者為減少碳稅(費)等額外支出，屆時將有大量的海門冬飼料添加物使用之需求；據 Roque 等 (2020) 指出，每頭牛每餐約需添加海門冬 50–100 g 乾重，即約 1 kg 的新鮮藻體，全球約有 15 億頭牛，海門冬需求勢必青黃不接。為解決海藻供應問題，並搶占市場，現今各國已陸續成立專門商業化培養海門冬的新創公司，我國若能儘早掌握該藻人工量產技術，除可滿足市場需求，創造巨大經濟價值外，亦將在淨零排放這條路上提供偌大貢獻。