

海藻的利用 與養殖

■ 蘇惠美 黃俊翰 蔡健偉 陳紫嫻

在水域生長的藻類不和糧食搶耕地，
又可吸收二氧化碳，不僅提供能源，
又能減緩地球暖化，
是最終的再生能源。

海洋拉娜和寒天飲料

海藻的用途甚廣，日常生活中有許多原料來自海藻。在海苔、壽司、味噌湯、滷海帶中，就有紫菜、海帶（昆布）和裙帶菜（海帶芽）。假魚卵、霜淇淋、美容保養品、洗髮精、假牙的製作、水泥牆壁的塗裝等也都利用海藻藻膠，包括洋菜（agar 寒天）、卡拉膠、褐藻膠等。名貴化妝品—海洋拉娜的特殊保養成分就含有海藻萃取物。

近年來的研究顯示海藻因富有多醣類、



紫菜絲狀體養殖



牡蠣殼上的紫菜絲狀體

紫菜成熟藻體



礦物質、色素、人體可利用生物鈣等，有提升免疫力、抑制腫瘤、治療類風濕性關節炎、減肥等功效。海藻也具有的神經生長因子，可用於阿茲海默氏症、癡呆等的治療，因此做為保健食品的海藻更受到世人的重視。

除了做為食品外，海藻也可做為動物飼料，如餵養鮑魚、海膽，或做為植物肥料用於改善土壤和提供礦物質。最近以海藻做為生質原料的議題再度興起，由於海藻可快速吸收營養鹽並大量成長，具有生態復育功能，可抑制紅潮產生，並能和魚蝦共養使水

產養殖產業永續發展，還可吸收二氧化碳，減緩溫室效應。

海藻發電和生質酒精

1970年代石油危機時，美國投資2千萬美元，選擇一天可生長1公尺，最長達60公尺的加州巨藻，建立離岸海藻農場，以富含營養鹽的深層海水來養殖。由美國能源部（DOE）、天然氣研究所（GRI）、奇異公司等共同研發，證實深層海水可使巨藻快速成長，且可做為原料經厭氧發酵生產甲烷。但因設計問題和強大暴風雨，摧



紫菜殼孢子附苗設施



紫菜殼孢子附苗網

由於海藻可快速吸收營養鹽並大量成長，具有生態復育功能，可抑制紅潮產生，並能和魚蝦共養使水產養殖產業永續發展，還可吸收二氧化碳，減緩溫室效應。



紫菜的海上養殖網

毀了成長中的藻體而失敗。

1981年末由GRI單獨支持，在近岸養殖其他海藻，如海帶、馬尾藻、龍鬚菜、石蓴等，計劃專注於海藻的生物研究，而不必分心於解決棘手的離岸養殖工程問題。但因生產成本問題，1986年結束計畫。雖然未達成培育大型海藻做為天然氣（甲烷）來源的初衷，但近10年的研究成果，包括海藻組織培養，如利用癒傷組織、原生質體等培育種苗，海藻生長調控因子，以及藻體化學組成和轉化為甲烷、酒精等，都提供後續養殖海藻的基礎資料。

時代不同了，隨著油價的高漲，海藻可在海域生長，不和糧食搶耕地，又可吸收二氧化碳，再度受到重視。日本、丹麥、荷蘭等國先後投入開發海洋藻類生質能。

日本東京瓦斯公司與新能源及產業技術綜合開發機構合作研發海藻發電。鑑於沿海地區飽受大量海藻腐敗之苦，2002年嘗試把沖上岸邊的石蓴，碾碎和發酵產生甲烷來發電，不但獲得發電效益，又能改善惱人的環境問題。2007年時，示範場每天可發酵1噸海藻，能夠收集2萬公升甲烷，和天然氣混合每小時可轉變成10千瓦的電功率，足夠支援20戶人家，現在用來提供電廠辦公室的照明，發酵殘渣則可做肥料。2008年將在3家啤酒廠進行以混合氣發電的試運轉。

同樣地，為了減少對進口能源的依賴，丹麥研究人員看中了生長快速（每3~4日增重1倍）、不需要淡水、可在近岸生長（方便採收）的石蓴，做為海藻酒精的原

隨著油價的高漲，海藻可在海域生長不和糧食搶耕地，又可吸收二氧化碳，再度受到各國重視，先後投入開發海洋藻類生質能。

料。在2007至2011年的生質能計畫中，擬進行大規模養殖，估計丹麥海域年產量約10萬噸。但目前的生產成本仍相當高，因此將先從海域採收野生藻做為生質原料，如此可因移除成熟藻體而使海域更具生產力。

另一方面，日本8個機構包括三菱綜合研究所、京都府立海洋中心、東京海洋大學等組成的研究團隊，2005年提出「太陽神與海神計畫」，希望收集隨著洋流移動的漂浮性馬尾藻，和培養馬尾藻做為再生能源的原料，同時達到淨化海域的目的。研究團隊計劃在日本海沿岸水深400公尺的海域建立養殖場，養殖半年內可生長1~3公尺的非食用性微勞馬尾藻。每一養殖區塊垂掛約有100根附著幼苗的繩子，養殖面積將達1萬平方公里（1百萬公頃），估計一年約可製造出2,000萬公秉的生質乙醇。

東京海洋大學教授Notoya私下告知，利用石蓴製造生質乙醇的技術已開發完成，也已找到水解馬尾藻體中岩藻醣的酵素，但分解褐藻酸的技術還在開發中，將來可能朝生產氫氣方向研究。

此外，面臨北海的荷蘭、丹麥和德國，計劃藉由離岸風能場提供電力，在近岸海域養殖海帶、石蓴等。初期生產甲烷和其他化學品原料，長期將生產酒精和發展生質精煉工業，同時養殖其他經濟物種如牡蠣，以提高整體利用率和價值。

海藻養殖

海藻養殖和其他養殖一樣，包括取得藻苗、選定養殖地點、提供養殖設施，加上良好的養殖管理，結果則是豐碩的利得。

養殖種類 根據聯合國糧農組織（FAO）2004年的資料，全球海水養殖產量約3千萬

噸、產值281億美元，其中海藻產量是1.1千萬噸、產值57億美元，種類約221種，主要的養殖種類是海帶、裙帶菜、紫菜、麒麟菜類和龍鬚菜5種，占全部養殖產量和產值的95%。其中裙帶菜和龍鬚菜近年來成長數倍，最近羊栖菜（一種可食用的馬尾藻類）、海膜和石蓴的養殖也漸興起。

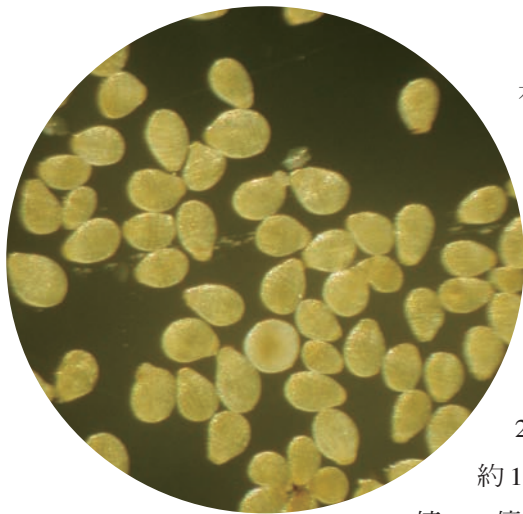
褐藻類（海帶、裙帶菜、羊栖菜等）大小為30公分至30公尺，最適生長溫度在攝氏20度以下，較高水溫生長的種類，不適合當作食品 and 抽取褐藻膠。紅藻類（紫菜、麒麟菜、龍鬚菜、海膜等）和綠藻類（石蓴）則為3公分至1公尺，可在冷、溫和熱帶海域生長。

藻類主要養殖國家是中國，產量約500萬噸，海帶（又稱昆布）占90%。其次是韓國，產量約80萬噸，裙帶菜占50%。日本產量約60萬噸，紫菜占75%。菲律賓產量約12.5萬噸，主要是麒麟菜。產量高的國家都位於溫帶地區。最近，印度為了改善沿海居民生活，鼓勵種植麒麟菜、龍鬚菜等熱帶性海藻，希望能帶來100萬個工作機會。

台灣僅在澎湖有小量的紫菜養殖。但早



紫菜收割船



馬尾藻胚

在1961年，就利用魚塭養殖龍鬚菜，起初是作為洋菜原料，隨後作為九孔的餌料，2001年的產量約16,000公噸，產值4.5億，養殖面積近1,000多公頃。隨後因九孔病變養殖面積縮小，雖也採收作為食品，因魚塭養殖雜物多，採收和處理成本高，銷路不大，2005年的產量2,430公噸，養殖魚塭276公頃。

藻苗取得 海藻藻苗取得方式可分為二種。一種經無性方式，直接以藻體片段（如龍鬚菜、麒麟菜、石蓴等），或利用假

根再生長出的新苗經分苗成為藻苗（如馬尾藻）。另一種必須經過有性生殖取得幼苗，再使幼苗在適宜成長環境中養成（如紫菜、海帶、裙帶菜、馬尾藻等）。

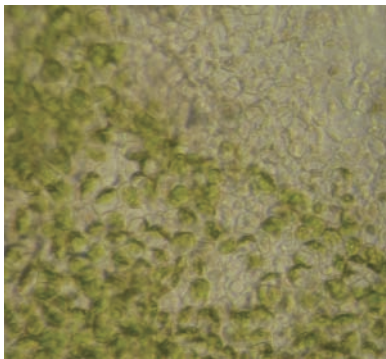
經有性生殖才能取得藻苗的養殖成本較高，適宜養殖食用性藻類，售價也較高，如紫菜是16美元/公斤、裙帶菜6.9美元/公斤、海帶2.8美元/公斤。以日本養殖紫菜為例，首先要觀察片狀藻體是否有成熟的精囊和果胞器，然後操控水溫釋出果孢子附著於牡蠣殼上，在陸上設施養殖絲狀體，養殖期間約3~6個月。於海上環境條件適合時，調控水



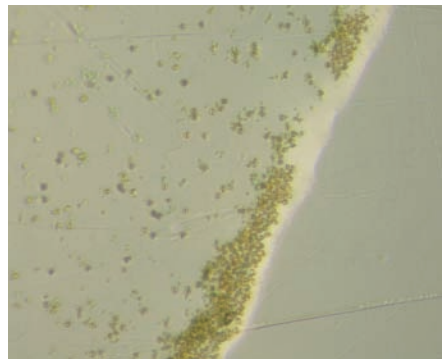
馬尾藻雌雄生殖托



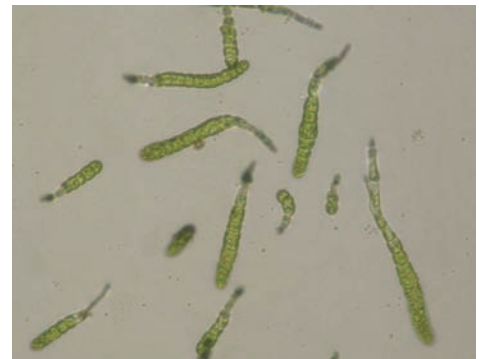
馬尾藻成體與採苗牡蠣殼



放出石蓴孢子的組織



石蓴孢子



石蓴苗

溫和光照使絲狀體釋出殼孢子附於養殖網上，把苗網移到海上養殖。等幼苗成長到可收割時採收，每3~4周可採收一次（日本用收割船），養殖季約可收穫3~4次。

以斷裂藻體取得藻苗成本最低，麒麟菜類僅1.1美元/公斤。台灣魚塢養殖的龍鬚菜做為九孔飼料，每公斤僅售3元新台幣。只要取得健康藻體把它切割為小片，移於適宜的養殖地如海灣內水域、陸上魚池或養殖

槽，進一步提供良好的生長環境，包括鹽度、營養鹽、水流、水溫和光照，等長到可收穫的大小時採收，並留下部分做種原繼續養殖。當成長速率趨低後，再更換新藻苗。

養殖地點和設施 海藻養殖可分為單養或和其他生物做整合型養殖二類，養殖地點則以收穫時的藻體是在海面或陸上區分。單養是以收穫海藻為主。整合養殖則利用養魚的含營養鹽排放水，供應海藻成長，達到解



馬尾藻海上養殖試驗

決環境污染和增加收益的目的；或是在海藻養殖場養鮑魚，可直接採收海藻做為鮑魚的食物，提高養殖利得；或利用海藻養殖槽做為生物過濾器，吸收養殖動物的含營養鹽排放水後再排放入海。

在海面養殖海藻時，是把附有幼苗的養殖網以筏式延繩置於海面，如紫菜、海帶、裙帶菜等；或把夾有藻體片段（如龍鬚菜、麒麟菜等）的吊繩，以插樁延繩、垂掛延繩或筏式延繩的方式，懸掛於海水中養殖；或在遮蔽水較淺的近岸，把藻體直接插入底土或用灌有砂石的塑膠袋壓住藻體（麒麟菜）。若海水富含營養鹽，一般不施肥，但可利用海藻快速吸收氮肥的特性，用船載運肥料桶以水槍噴灑施肥或徒手潑灑。

馬尾藻和石蓴養殖試驗

比較各種生質產量（乾重 / 公頃 / 年），農業生產約 5 公噸，狼尾草約 50 公噸，養殖海藻可達 95 公噸，具開發潛力。但因養殖管理的不同，各種類年產量差異大，例如紫菜 4~9 公噸、海帶 10~24 公噸、馬尾藻 9~45 公噸、龍鬚菜 7~60 公噸及石蓴 23~95 公噸。基於擔負海洋資源利用和開發的任務，水試所近年來進行海藻生質酒精的研發，選定大量養殖的龍鬚菜，海域資源量豐富的馬尾藻，以及產量最高的石蓴為對象藻種。

由於龍鬚菜的多醣水解酵素尚未找到，每公噸龍鬚菜僅能發酵生產 180 公升酒精，若要滿足政府於 2011 年至少 100 萬公秉的生質酒精需求，需將近 50 萬公頃的養殖面積。因此，在龍鬚菜的產量、養殖面積和酒精生產效率上，仍需大幅提升，才能滿足需求。

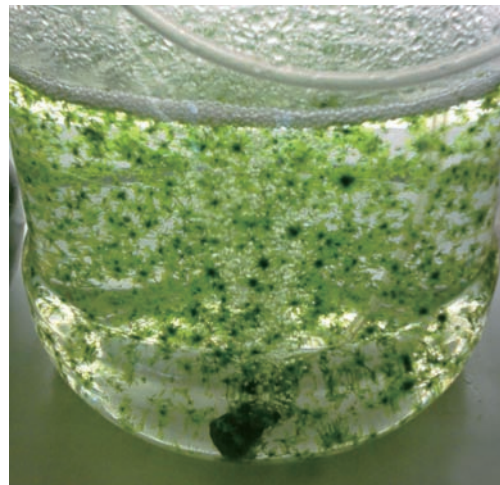
馬尾藻 為評估馬尾藻野生資源量，2006 年 10 月至 2007 年 12 月，在小琉球凸

坪和恆春萬里桐地區海域調查其月別豐度。結果顯示馬尾藻在凸坪簇生於離岸 50 公尺寬僅 20 公尺的潮間帶，在萬里桐則生長於離岸 120 公尺寬約 40 公尺的地帶。生物量最高峰都在 3 月，約 593 ± 480 公克乾重 / 平方公尺（凸坪）和 826 ± 360 公克乾重 / 平方公尺（萬里桐）。

5 月以後馬尾藻群落全部消失，6~10 月僅能採集到零星的馬尾藻幼苗，生物量低於 10 公克乾重 / 平方公尺。可見馬尾藻的生長有非常明顯的季節消長，適合生長的季節僅從 12 月到隔年 4 月，生物量雖可增加 10 倍之多，因生長於特定地帶，野生總資源量不算豐富。

利用野外採回具有生殖托的馬尾藻，使胚自然釋出，或以毛刷刷於附苗棉繩上，長成 5 厘米的幼苗後，移至海上箱網區（吊於箱網旁）或海岸邊（釘在礁石上）進行吊掛培養。經過 2 個月的海面養殖，附苗棉繩和養殖設施覆蓋附著生物和泥沙，存活幼苗量極少且成長緩慢，僅生長到 8~10 厘米，最後養殖設施在夏天因颱風過境被海浪沖走。而釘在海岸礁石的附苗繩，不到 1 周便被沖毀。

在室內養殖條件下，經 5 個月幼苗才發



石蓴幼苗養殖

育至8厘米，且受雜藻附著，於培養過程中掉葉或死亡。實驗結果顯示馬尾藻的增殖需要特殊的養殖環境，且生活史包括有性生殖的世代交替。不管自然資源或人為養殖，這樣的生長周期和生長速率，都無法提供足夠的生物量做為生質原料。



石蓴養殖

石蓴 石蓴生長於中、低潮帶至潮下帶2米深的礁岩上，可達高30公分、寬10公分，在受有機質污染的水域，石蓴有時可長達1公尺以上，可以忍受強光照射和每日2次漲退潮乾濕的變化。在台灣本島和離島都有生長，繁盛期在2月~4月。

石蓴具有同形世代交替的生活史，孢子



石蓴藻體

體和配子體外觀相同，孢子體釋出的游孢子可萌發成配子體。由不同配子體產生的配子經交配為合子，再萌發為新孢子體；或配子直接行孤雌生殖，發育為新配子體。藉由收集較大葉片藻體釋放出的配子或孢子，選擇族群中成長最快的藻體再養殖，經過3代後養殖的藻體，以3,000公升長型養殖槽接種石蓴1公斤/平方公尺，1周後可增重1倍，成長快速。

石蓴營養價值高，無毒可食，惟質地稍硬，一般食用方式有煮湯、油炸或曬乾和芝麻做成米飯的佐料，或可絞碎拌入麵粉中製成麵條。在《本草綱目》、《本草拾遺》書目中也有關於石蓴藥用的記載。石蓴也可做為九孔和蛋雞的飼料，用來生產甲烷、製作堆肥、特殊紙漿和運送漁貨的保鮮材料，用途多樣。由於它生長速率快，有透過光合作用可快速吸收過剩的營養鹽、增加溶氧、淨化水質的特性。在水產養殖的應用上，石蓴可和魚、蝦、貝類等混養，達到節約餌料和能源的目的，進而降低養殖成本。 □

蘇惠美 黃俊翰 蔡健偉 陳紫嫻

水產試驗所東港生技研究中心