

的確可以減低組織結構的影響。我們又用兩種不同電壓的火花光源（12,000伏和8,000伏）進行試驗，所得的 ε' 值都在實驗誤差範圍以內，這表示

用火花光源時組織結構對光譜分析並無顯著的影響。

淺海施肥增產問題

會 呈 奎

（中國科學院海洋生物研究室）

我國海岸線蔓延一萬多公里，具有無數大小海灣，因此，淺海的利用是一件不應輕視的事情。在我國沿海地區，人口稠密，每人所能耕種的農田較少，因此勞動人民需要部分地，在個別地方甚至大部分地依靠水產維持生活。但必須指出，這些物資絕大多數是用狩獵或採野菜的方式獲得的；通過人工養殖得到我們所需要的海產品，僅限於少數地區的少數種類，例如華北的海帶和華南的牡蠣。

李富春副總理在第一屆全國人民代表大會第二次會議上所作的“關於發展國民經濟的第一個五年計劃的報告”中提出了幾點關於農業的增產措施，其中“開墾宜於耕種的荒地”和“充分地有效地利用土地”兩點同樣可以應用於海產養殖業，因為我國還有許多萬畝具有養殖海產生物條件的荒海還沒有開墾起來，而且目前已經“開墾”的海區也沒有“充分地有效地利用”。許多年代以來，我國勞動人民積累了很多關於利用海產資源的寶貴知識，從海洋生物中得到了很有價值的油、膠、藥材和其他有用材料。因此，充分地利用淺海，提高淺海的有機生產能力以增產人民所需要的生物種類是海產生物研究者和養殖工作者應該努力的方向。

一 增產海產生物的關鍵問題

在海洋裏跟在陸地上一樣，動物直接或間接地需要依靠植物而生存。因此，淺海有機生產能力的提高問題，基本上就是海洋藻類植物的增產問題。但在這方面，人類的經驗和科學研究的成果還很少，完全有必要吸收農業上的經驗和知識適當地在海洋藻類增產工作上加以應用。

農業的歷史說明農作物的增產方法不外乎生活條件的改善和品種的選育改良。但品種的選育是個長期的工作，而且與生活條件有不可分的關係，而通過生活條件的改善這方面的研究，我們就有可能在較短時間內達到提高單位面積生產和開闢新的養殖區以擴大生產面積的雙重目的，同時也為品種的選育工作奠定了基礎。

海洋植物跟農作物一樣，需要一定的溫度、光照以及充分的水分、氧氣、二氧化碳與礦物養料。溫度條件限制了海藻的生長地區，但一年生的藻類可以在任何地區生長於適合它的生長條件的季節，所以南方的一些種類夏季可以在北方生長；同樣的，北方的一些種類冬季可以在南方生長。陽光的條件對於海藻的生長是非常重要的，每一種有它最適宜的陽光強度和能夠利用的光波，藻類在這方面的要求一般可以人工調節它們的生長深度而得到滿足。水分是充分地存在着的，至於氧氣與二氧化碳，由於風浪潮流使海水不斷流動，表層所含氣體不斷地與大氣中的氣體進行交換而飽和地存在着；而且海水中含有大量的碳酸鹽和重碳酸鹽，因此，植物所能利用的二氧化碳比大氣所含有的還要多些，對於藻類一般生長上的要求是可以滿足的。在礦物營養方面，植物生長所需要的多數元素如鉀、鎂、鈣、硫等在海洋中存量都很豐富；其他元素存在量雖然較少，但由於海水的不斷流動，不斷地得到補充，植物的一般需要還是可以滿足的。因此，在海洋，不論深淺和地區，只要有充足的陽光，就有含葉綠素的植物在進行着有機物的生產。但是，即使在光照、溫度、溶解氣體含量相同的條件下，不同海區的生產能力仍然可以有很大的差

別；例如，在青島地區，團島灣的岩石上海藻生長非常繁茂，但在其東面數里路的太平灣海藻生長較為稀疏。這主要是由於植物需要量很大而存在量很少的一些元素，特別是硝酸鹽的元素氮和磷酸鹽的元素磷在這些海區的含量多少的關係。

目前，我國商品海帶的生產僅限於一些大城市排洩污水的港灣，因為污水帶來大量的肥料，特別是氮肥和磷肥，可以供給生長非常迅速的海帶的大量需要，使它們能夠在一年內長成寬厚長大符合於商品標準的藻體。海產動物的生產情況也是一樣，比如我國南部的牡蠣養殖僅在一些肥沃海區進行；在貧瘠海區，浮游生物較少，不能滿足這種動物大量生長的需要，這種事業就不能開展起來。因此，我們可以得出結論：增產海洋植物（大的海帶和小的浮游植物）跟增產農作物一樣，需要進行生產區的施肥，增加海水裏的鹽物營養，特別是硝酸鹽和磷酸鹽的含量。

二 池塘和港灣的施肥增產

事實上，在海產的養殖方面，勞動人民早就注意到水質肥瘠與生物生長的關係。許多年來，在我國南方的牡蠣養殖業勞動人民應用了所謂“寄肥”的方法增產牡蠣，把牡蠣從一般的養殖區移種在水質特別肥沃，也就是浮游生物特別繁茂的海區“寄養”；在這地區，牡蠣長得很快，短時間內就可以達到商品的標準。

在封閉式或半封閉式的水田，特別是淡水池塘，勞動人民早就進行施肥以增產魚類。施肥的直接結果是浮游植物的增加，從而產生了更多的浮游動物和其他小動物，最後的結果就是魚類的增產。1942—1944年，英國格羅斯等選擇了一個面積約18英畝（約110市畝），容量約7萬立方米的港灣，在通海處建築海壩以水閘控制灣內水田與灣外水田的交流以進行港灣施肥增產魚類的研究。在試驗期內共施肥料硝酸鈉2,400磅和過磷酸鹽1,000磅。施肥的結果，浮游藻類大量增加，但在定生的大型藻類生長繁茂的時期，所加肥料大部分為這些藻類所吸收，浮游藻類的增加不多。化學分析證明施肥約四天後，水田所含的溶解性磷酸鹽幾乎全部被吸收。隨着浮游藻類的增加，浮游動物和底棲動物也同樣的增加，港灣裏所放養的比目魚在不到兩年的期間內完成了在

灣外沒有施肥的海區5—6年的生長。

沒有疑問，封閉式海灣的施肥增產海產生物是可以實踐的，因為跟池塘養魚一樣，所施肥料不會流失，效果最少不會比農田施肥的差。但這種方法只適合於海峽狹細而內部寬大的海灣，否則海壩建築困難，投資過多，施肥增產所得的利潤過少，實踐意義不大。因此，開口港灣的施肥增產試驗具有更大的實踐意義。1944年，格羅斯等在一個地區的另一個海灣進行試驗。試驗區的面積160英畝（約980市畝），最深处21米，通海的海峽長數百米，最狹處寬僅100米。在最初一年半，每月施肥一次，共加了3,800磅硝酸鈉和800磅過磷酸鹽；之後，每月加3,000磅硫酸銨代替硝酸鈉作為氮肥。根據海水磷酸鹽含量的分析，施肥一週後所加磷肥大部分消耗掉，因潮流運動所致的肥料流失不太嚴重。與同一地區的另一個沒有施肥的海灣比較，浮游植物、浮游動物和底棲動物都增加了，所放養的比目魚類的生長也增加了3—5倍。

三 水田的全部施肥與局部施肥

這些試驗證明了，不但在池塘式的海灣，甚至在開口的、灣內水田經常與灣外水田進行交流的海灣，都可以通過施肥而達到有效地提高海產生物的生產。施肥的結果，灣內整個水田的肥沃度提高了，首先浮游植物，然後浮游動物和底棲動物的生產都增加了，最後魚類的生長也增加了。如果目的在於增產浮游植物以及用浮游植物為食料的動物，在理論上，這種水田的全面施肥方法是可以應用的。但格羅斯等的試驗還是初步的，他們沒有把試驗推進一步，進行在經濟核算條件下的施肥增產研究。

定生植物（例如海帶）生長在一定的水層，而且在人工養殖的情況下，它們的生長基層之間有一定的距離，不像浮游植物均勻地生長於海水的全面，水田的全面施肥方法是不適合的。因此，為着經濟使用肥料，使施肥的增產結果能夠符合於經濟條件，我們應當把施肥的範圍尽可能地縮小在藻類的直接周圍。所以，對於定生藻類的增產，我們所需要的是水田的局部施肥方法而不是像格羅斯等所進行的水田的全部施肥方法。

局部施肥的最簡易辦法是把溶解度較低的肥

料，如小塊磷礦石，用布袋包裝，懸掛或散播於培養藻類的地點，讓不斷流動的海水逐漸地溶解它們，在海藻的周圍形成高養料的小水團。海水的流動不可避免地要把部分的養料帶到無藻的地點，造成一定的損失，但因肥料溶解、擴散緩慢，大部分有被接近的藻類吸收的可能。但是，溶解度甚高的肥料如硝酸鈉、硝酸銨、硫酸銨等，在短期間內將全部溶解，絕大部分必然流失，不能為所培養的藻類所利用。因此，必須設法使溶解性很高的肥料緩慢地擴散，並且儘可能地讓植物有優先吸收這些肥料的机会。我們深入地考慮這問題後，決定將肥料盛在泥罐或陶罐裏，讓肥料緩慢地通過罐壁擴散到海水裏去。

四 陶罐施肥增產海帶的研究

1954年2月，我們用泥罐做了個簡單試驗，將容量2升的泥罐盛滿海水，加入食鹽（濃度約等於5%氯化鈉）將罐放置於盛海水的水桶裏，然後分析罐外桶內海水的氯度變化以計算氯化鈉每天由罐內擴散到罐外海水的量。在這種情況下，泥罐每天放出約1克氯化鈉。我們知道，擴散量不但可以因罐的粗細而不同，而且也可以因罐內外溶液的相對濃度，罐外海水的動靜和其他因素而變異；因此，可以根據我們的願望而調整肥料的擴散量。我們後來用同樣的泥罐盛較濃的鹽水放置在海面，擴散量提高到每天40克左右。

4月中旬，我們進行了一個利用泥罐施肥繁殖海帶的初步試驗，將盛滿約25%硝酸鉀海水溶液的泥罐放在周圍生長海帶幼苗的圓形竹簍裏面而養育在所謂瘠區的太平洋海面。過去試驗證明這海區的植物養料太少，不能進行商品海帶的繁殖。試驗進行6天後，施肥者和不施肥者在藻體的色澤上開始表現一些差別；施肥的海帶仍然濃褐，但不施肥者已呈淡黃，表現營養不足的現象。試驗於6月中旬結束，從施肥者與不施肥者各挑選最大的156棵加以比較。結果在藻體的長度或者重量方面，施肥者約為不施肥者的三倍左右，初步證明了應用泥罐施肥方法可以通過罐壁對於肥料擴散的控制而達到局部施肥的目的。

這試驗雖然有了初步的結果，但究竟試驗所用的材料太少（施肥與不施肥者各兩簍）而且開始太晚（水溫已經開始趨向不適宜於海帶的

生長），進行的時間也太短（只有兩個月），因而，試驗結束時，所養的海帶沒有達到商品標準。因此，有必要擴大試驗，延長養育時間以證明應用這種方法是否可以養出夠商品標準的海帶；更重要的，還要證明施肥的增產是否符合於經濟條件。

進一步的試驗在1954年12月16日開始，1955年6月9日結束，前後用了約8,000棵的海帶幼苗作為試驗的材料^{〔1〕}。幼苗夾棕繩上，綁在特製的長筒形竹簍的兩邊；苗繩90厘米長，每條均勻密夾70棵幼苗；簍長約1米，直徑17厘米。施肥罐改用特製的陶罐（泥罐容易破碎）；罐長瓶形，長50厘米，壁厚0.9厘米，容量約2.5升。陶罐內裝約1.5公斤肥料，充滿海水後，用橡皮塞塞住，石臘封固，然後用細棕繩將罐綁緊於簍內。所用氮肥有硝酸鈉和硝酸銨兩種，磷肥有磷酸三鈉，磷礦石和磷石粉三種。磷礦石用布袋包裝放簍內，其他都放陶罐內。肥料每月補充一次。

試驗結果證明了陶罐施肥養育方法不但可以增產，而且所養海帶都達到商品標準，所消耗的無機肥料也較有限，經濟核算後不但夠本而且還有利潤。第一批於12月16日開始養育的海帶在175天內長到2米長，平均每棵乾海帶重量40.6克，為對照試驗的3.2倍；最後一批於3月7日開始養育的海帶在94天內長到2.1米長，平均每棵乾海帶重量33.2克，為對照試驗的4.2倍。肥料的消耗量每罐每天平均約50克。以每簍養育海帶140棵計算，第一批養育的海帶的平均產量是每簍5,684克乾品，在175天內消耗8,750克硝酸鈉，生產1公斤乾海帶平均消耗1.54公斤肥料；最後一批養育的海帶的平均產量是每簍4,648克乾品，在94天內消耗了4,700克硝酸鈉，生產1公斤乾海帶平均消耗1.01公斤肥料。如一畝海面放置9個浮架，每個浮架5個簍計算，則每畝可產乾海帶256公斤（第一批的標準）或209公斤（第二批的標準），消耗肥料（硝酸鈉）394公斤（第一批）或211公斤（第二批）。

五 陶罐施肥法的實踐意義

〔1〕 參加這項研究工作和以上的預備工作者，有中國科學院海洋生物研究室吳超元、孫國玉二位同志，詳細研究報告將另行發表；費修綏、曹文達、任國忠等同志也參加了一部分工作。

格羅斯等所進行的港灣施肥增產試驗目的在於魚類的增產，但只舉出了灣內外的魚類生長情況，未曾提到魚類產量，因此不能與我們的試驗作施肥增產效果的比較；但是從單位面積所施肥料，可以了解相對的消耗量。格羅斯等在封閉式海灣的試驗所用面積約 110 市畝，兩整年裏共施硝酸鈉 2,400 磅和過磷酸鹽 1,000 磅，等於每年每畝海面施肥約 7 公斤。他們在開口海灣的試驗所用面積約 980 市畝，所施肥料如以第二年的下半年為標準，每月用了 3,000 磅硫酸銨和幾十磅過磷酸鹽，等於每年每畝海面施肥約 17 公斤。如與格羅斯等的試驗比較，我們的試驗所消耗的肥料多得多，約為他們的封閉式海灣試驗的 29 和 56 倍，開口海灣試驗的 12 和 23 倍。

我們的試驗結果如跟農作物的生產比較，在產量方面是高些，但所消耗的肥料也顯著地多些。以青島地區的小麥生產為例，每畝平均產量約為 85 公斤，為我們的海帶試驗生產所得產量的 33% 和 40%。在肥料的消耗方面，每畝小麥所用肥料估計可折合為 15 公斤硝酸鈉，因而生產一公斤小麥約需施肥 176 克，施肥效果為我們試驗中效果最優良者（每公斤海帶需施肥 1.01 公斤）的 5.7 倍。這指出我們努力的方向是如何減少每公斤海帶的生產所需要的肥料，同時還能維持，甚至提高所生產的海帶的質量。在產品的價值上，海帶的市價（以二等品計算）約為小麥的 7 倍，因此，從經濟的角度來看施肥增產的效果，我們的海帶試驗生產要比小麥的一般生產好些，符合於經濟條件的要求。根據試驗的結果，我們作了詳細的經濟核算，把所有的器材與肥料的消耗、工資、管理費以及其他費用都計算在內，每畝海面還可以有 82 元左右的純利潤。在成本計核裏面，每畝海面的生產估計要付出約 108 元的工資，包括養殖技工工資和產品加工包裝費等；這些工資當然是付給生產合作組織內的成員的。加上純利潤 82 元，生產合作組織實際上可以從每畝海面的海帶養殖收入 190 元。這些雖然都是估計數字但可以幫助說明用陶罐施肥方法養殖海帶是可以付諸實踐的。

陶罐施肥簍式養殖的優點在於施肥罐與海帶之間的距離甚短，因此，所擴散出來的肥料大部

分為周圍的海帶所吸收，流失於海帶生長地點以外的並不多，這從罐外不同距離的海水分析可以得到證明，而且簍外二三尺處的海帶生長情況——色黃體小——也清楚地表現了在這些地點就有缺少肥料的現象了。但簍式養殖方法較笨，不及浮架養殖靈便，單位面積所能養育的海帶棵數也較少。陶罐施肥雖然可以達到局部施肥的效果，但和有機物的增產結果比較起來，消耗肥料還是過多。肥料的流失固然不能完全避免，但通過養殖技術的改進還是可以逐漸降低的。我們相信，將施肥的效果提高一倍以上並不是不可能的。

我國有許多基本上符合於養殖條件的優良海灣，但因不夠肥沃，不能很好利用。以海帶的養殖為例，山東半島和遼東半島具有發展這項事業的基本地理條件，但海帶的生產迄今尚局限於旅大、青島及煙台等地極少數排洩污水的海灣進行。應用陶罐施肥或其他限制肥料流失的施肥方法進行港灣的局部施肥，把原先不能生產海帶的海灣充分地利用起來，就可以增產許多海帶，供應人民，特別是內地人民。在經濟價值上，一畝養殖海帶的海面在總價值方面可以抵過每畝年產 150 公斤小麥的農田十幾畝，在收入方面也可以等於 6 畝左右。這個方法經過技術上的修改也可以應用於紫菜、石花菜、膠麒麟菜、裙帶菜及其他經濟海藻的增產；在牡蠣及其他動物的養殖方面，應用類似施肥方法也有增產的可能。組織沿海地區勞動人民開墾荒海，利用有基本養殖條件的海灣進行海帶或其他經濟海藻類的養殖，不但可以供應人民一些副食品及工業原料，增加國家的財富，還可以改善沿海人民的生活。

這項研究的成果在原則上還可以應用於需要海面緩慢放散水溶性藥品的工作，例如，在養殖工作上有害生物的防除。在海港防治有害生物的附着的工作方面，如將某種具有特效的藥品注入一口封閉的泥陶水管而放置在一定的地方（如停泊艦艇的碼頭附近），使這些藥品不斷地擴散出來，就有可能在一定範圍內產生足夠殺蟲的濃度，防止幼蟲的侵入並消滅已經進入港內的有害生物的幼蟲及孢子以保護艦艇船隻和海港建築不致受到損害。當然，這是必須通過許多科學的和技術的研究才能達到目標的。