

# 深層海水特性與水產養殖利用

屏東科技大學教授兼管理學院院長 / 王貳瑞

屏東科技大學工業管理系副教授 / 蔡登茂

屏東科技大學財務金融研究所所長 / 洪仁杰

深層海水有別於一般的表層海水，具有許多可以使用於產業的優越特性。利用這些深層海水特有的特性，美國與日本相繼投入研究資源，以直接使用、加工製造或添加方式廣泛地應用在各種用途，已經形成重要的產業體系。隨著深層海水取水及特性應用技術趨於成熟，產品種類逐漸多元，整個產業體系更已成為近年來生物科技發展的重要項目。

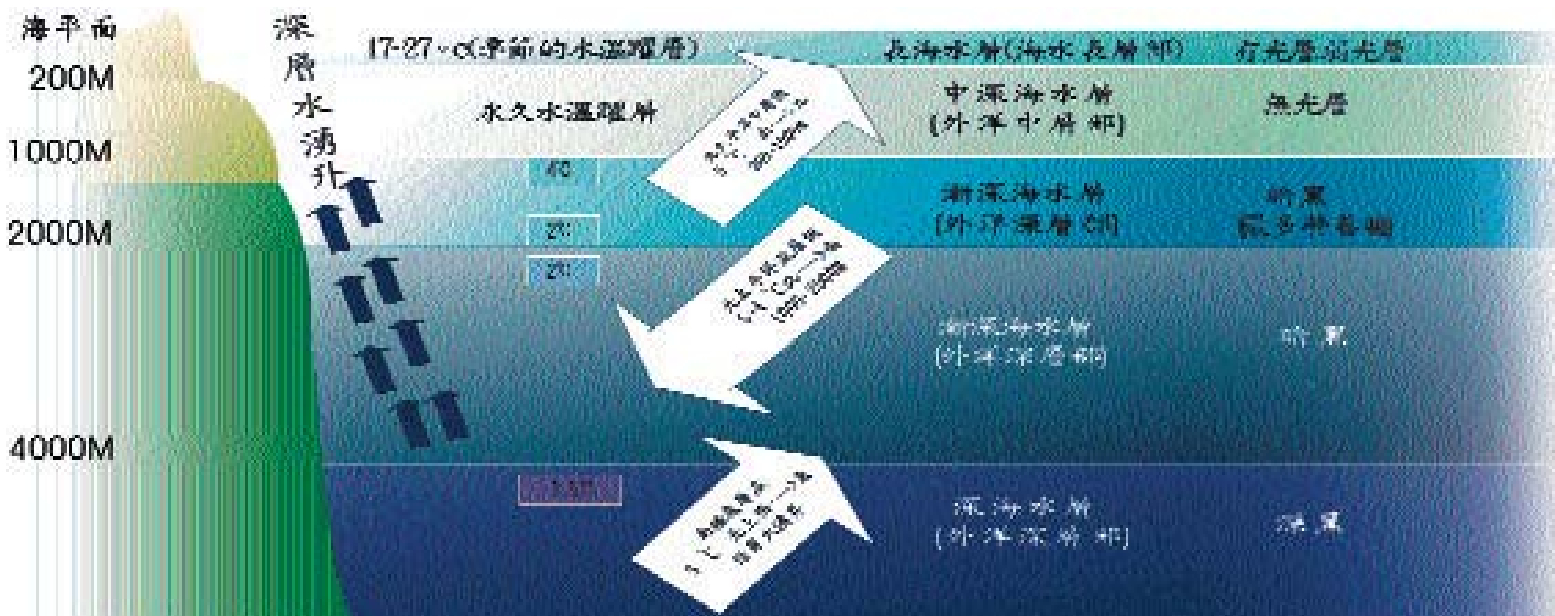
台灣目前正進行深層海水產業發展計畫，本文針對深層海水特性、產業應用架構及其在水產養殖應用加以說明，增加讀者此一方面的認識。

## 一、深層海水的定義與特性

所謂深層海水 (deep ocean water or deep sea water)，有多種觀點，對潛水者而言，200公尺已經屬於深層，但對研究深層海水生物者而言，300公尺仍非深層，也就是專業不同，定義有別。因而，若僅以深度作為區分，不如以其資源特性及可利用性分析為思考觀點。表層海水因有陽光產生光合作用，有機物體元素含量較多，但在沉澱過程中會逐漸到達沒有光線的無光層，即補償深度更

深的海底。構成生物體所需的碳水化合物、蛋白質、油脂物質等有機物，經光合作用後會分解並溶出成酸化與無機化，變成硝酸、磷酸等各種元素 (營養鹽元素)。無光層因無光合作用，這些元素會逐漸累積，成為豐富營養鹽的來源。

若將海水依水深與陽光照射程度區分，可分為有光、弱光、無光、增黑、暗黑及深黑等幾個層級 (圖1)。以深度定義深層海水，係指海水位於200公尺以下且屬無光層區



資料來源：台東縣政府，台東縣設置深層海水生物技術園區可行性及BOT前置作業規劃，2004年3月。

▲ 圖1 海水溫度與光線變化情形

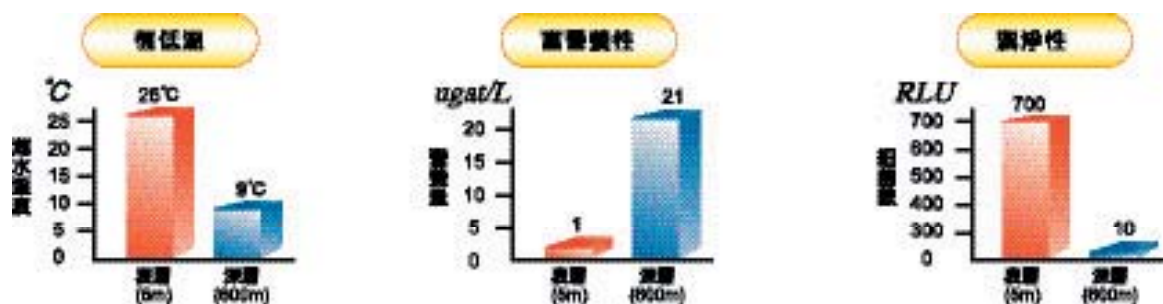
域，亦即陽光照射不到的海水。這些海水區域因無陽光照射，光合作用無法進行，深度越深，水溫越低。

其次，在表層沉澱過程顆粒狀或溶存狀態的有機物，細菌會產生化學酸化、沉澱、移流擴散等分解作用，並隨著深度而逐漸減少，這也是深層海水水質在微生物學或物理化學方面較為安定、無機且清淨的原因。一般而言，表層水所生成的沉澱有機物，多數在水深1,000公尺內就會分解，表層溶存有機物在水深500公尺內有50%會分解，植物光合作用所形成的有機物，則約15天左右就有二成會分解。殘存於深層海水的有機物，對微生物分解殘渣有機物作用的抵抗性相當安

定。另外，以有機物營養源維生的各種有害細菌、病菌，在深層海水中含量極低，人為污染少，也是構成深層海水潔淨的原因。

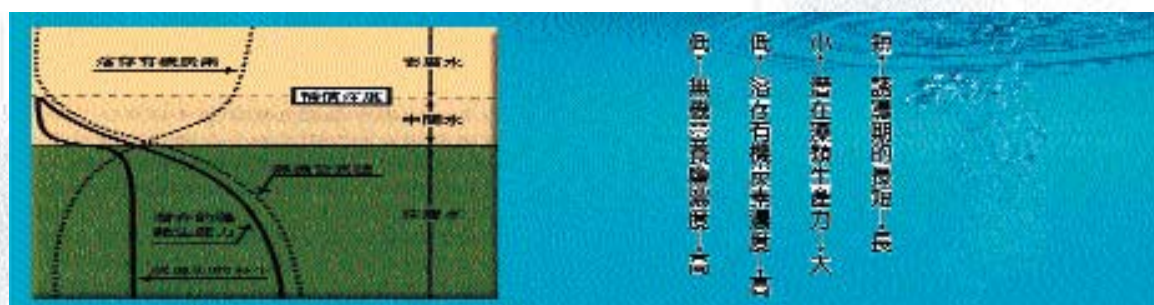
這也就是說，深層海水所具有的富營養性、潔淨性、水質安定，是經過一連串海洋微生物、物理、化學等處理交換與淨化作用後所產生的海水。

深層海水與一般表層海水最大不同處在於，深層海水具有礦物質豐富、細菌少、恆低溫及水質穩定的特性（圖2、3及表1）。由於海洋約佔地球表面積71%，且海洋平均水深約有3,795公尺，因而整個地球海域有95%屬於深層海水（ $1301.5 \times 10^{15} \text{m}^3$ ）。深層海水區域廣闊，蘊藏資源極為豐富，若能善加利



資料來源：日本沖繩久米島海洋深層水資料。

▲ 圖2 深層海水特性



資料來源：中島敏光（2000）。

▲ 圖3 垂直深度與海水特性差異示意圖

▼ 表1 垂直深度與海水特性差異分析表

表層水	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 無機營養物質較缺乏，含有許多分解性的溶存有機物質，有光合作用。</li> <li>2. 有機海水水質容易變化，浮游其中的藻類利用性不高。</li> </ol>
中間水	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 無機營養物質，溶存有機物質處於表層水與深層水的中間狀態，具補償更深層海水的功能。</li> <li>2. 藻類生產力較表層水高，但不如深層水顯著。</li> </ol>
深層水	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 無機營養物質豐富，分解性之溶存有機物質少。</li> <li>2. 屬無機海水、水質安定、潛在藻類生產力高，藻類繁殖過程會產生誘導期。</li> </ol>

資料來源：中島敏光（2000）。

用，可以解決相當多人類資源短缺的問題，且因深層海水資源有不因利用而產生有害事業廢棄物之高度環保功能，兼具再生與永續的特性，有助於21世紀資源缺乏的開發。

深層海水特性之所以較表層海水優越，主要是經過一連串海洋微生物、物理、化學等處理交換與淨化作用而產生。兩者特性差異與形成原因說明如下：

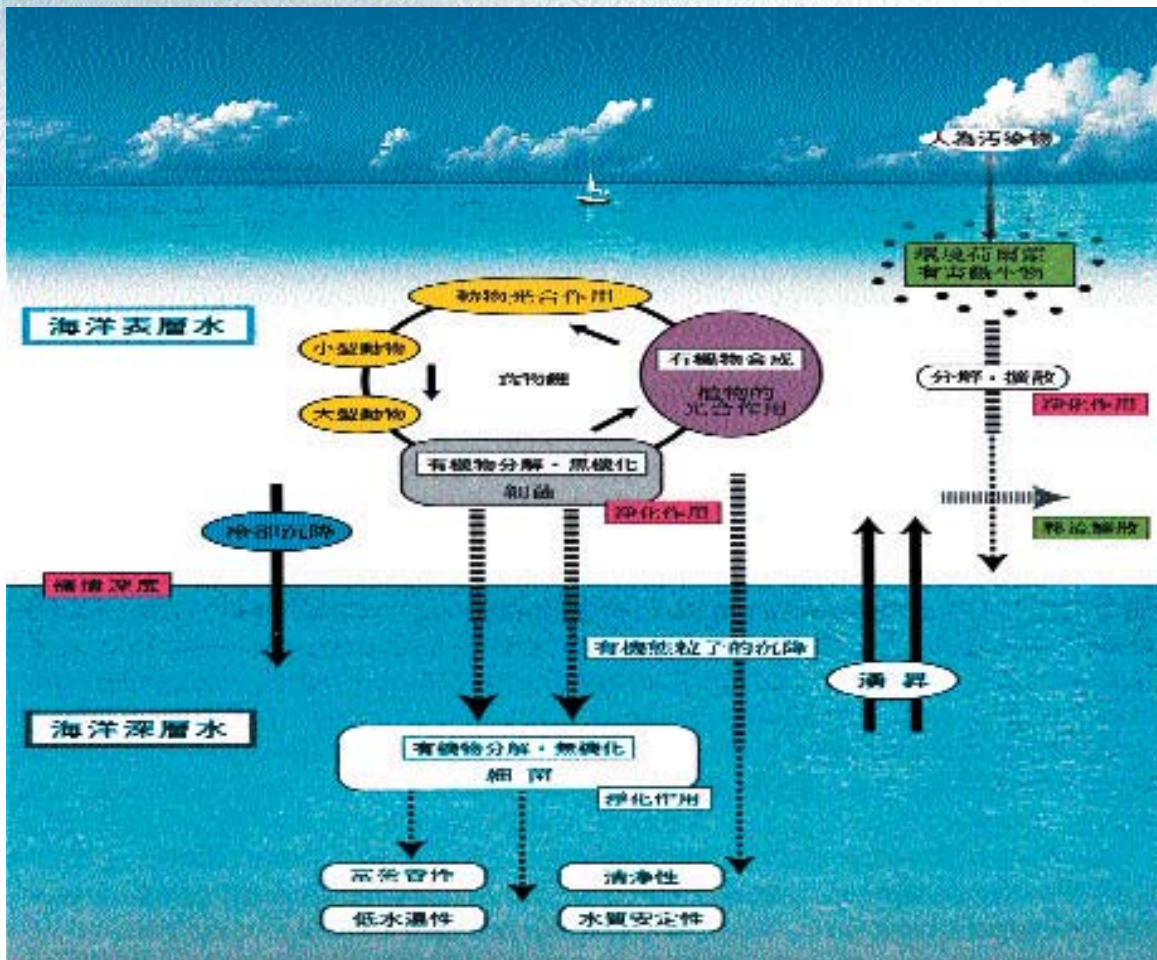
### 1. 富營養性

表層海水因有陽光產生光合作用，有機物體元素含量較多，但在沉澱過程中會逐漸到達沒有光線的無光層，即補償深度更深的海底。而構成生物體所需的碳水化合物、蛋白質、油脂物質等有機物，經光合作用後會分解、酸化與無機化，最後變成硝酸、磷酸

等各種營養鹽元素。無光層因無光合作用，這些元素會逐漸累積，成為豐富營養鹽的來源（圖4）。深層海水所含的磷酸鹽、硝酸鹽與矽酸等有助於植物浮游生物與海藻類生物繁殖成長的營養鹽成分，遠較表層海水豐富。其次，深層海水所含的各種礦物質，與人體組成的礦物質成分比率相近。因深層海水成熟穩定，無光合作用或不受溫度變化影響，成分維持固定，不似表層海水容易受到環境影響而變動。

### 2. 無污染潔淨性

人為污染少，是構成深層海水潔淨的原因之一。另外，表層海水在沉澱過程中，細菌會因化學酸化、沉澱、移流擴散等分解作用，且會隨深度而逐漸減少。因深海無殘存



▲ 圖4 深層海水的生成過程圖

細菌所需的有機物質沉澱且不含硝酸體氮素之供給，細菌難以繁殖。因此，導致病變的各種有害細菌或病菌，在深層海水中含量均極為稀少，僅為表層水千分之一至萬分之一。再者，殘存於深層海水的有機物，對微生物分解殘渣有機物作用的抵抗性相當安定，這也是深層海水水質在微生物學或物理化學方面較為安定、無機且清淨的原因。

### 3. 低溫安定性

深層海水越深，陽光越照射不到，水溫越低。另外，海洋底層海水源自於極區海域，主要來源為南極的威德海(Weddel Sea)以及羅斯海(Ross Sea)水域，為南極繞極水(Antarctic Circumpolar Water)以及附近大陸棚海水之混合體。冬季時，冷卻以及結冰作用，會造成這兩處海水密度增高，因高密度海水無法長久停留在淺海區域，會沿著陸棚邊緣下沉直至深海海底，隨後再向北與向東方向擴展，形成南極底層水。此外，北極海區域在冬季時理應如南極海域生成類似的底層水，但因受到陸塊以及海檻圍繞，所生成之底層水流出量有限。雖然如此，幾條主要的表層海流均在格陵蘭南方水域匯集，並且因密度較高迫使海水產生下沉作用。另一方面，這些海流匯集海水相混合時會發生「混合增密」現象(caballing effect)，混合水密度因此而增加，更易下沉。這股水團稱為北大西洋深層海水(North Atlantic Deep Water, NADW)。大西洋深層海水由北往南流，入南大西洋到達南極附近再度冷卻。這股冰冷深層海水再從大西洋流向印度洋，並在太平洋湧現。隨後這些深層海水又在廣大的海域內經由湧升效應，重返海洋表層。最後透過北

太平洋低緯度地區較暖、鹽度較低的表層海流將多出的水量送回大西洋，完成此一大規模的對流運動，深層海水因而終年隨時維持低溫狀態。

### 4. 成份穩定性

深層海水因高壓並與空氣隔絕，因此成份穩定。表層海水非但易受河川與空氣污染，導致成份改變，且因污染過程易於滋生各種雜菌和有機化合物，不利人體健康，深層海水則無此類問題。

### 5. 無限再生性

深層海水蘊藏量無限，高達 $1301.5 \times 10^{15}$ 噸，可以永續再生使用。

## 二、深層海水之用途分類

深層海水的用途相當廣泛，依製程分類可分為直接取用、淡化利用以及濃縮利用等；依應用領域分，深層海水可應用於水產養殖、食品飲料、休閒理療、溫差發電、冷凍空調、醫藥研製、化妝品等。依所利用的深層海水特性，又可分低溫性利用、營養鹽利用、潔淨性利用及安定性利用等。各種分類性質的交互搭配，構成深層海水可多階段、多目標、多屬性應用之多重產業利用價值(圖5)。首先，深層海水依其製程特性應用，可分為下列幾個大項：

#### 1. 直接利用

原水具恆低溫特性，可用於建造冷藏庫、貯存農產品及水產品、溫差發電、冷氣空調系統、工業用冷卻水、農業或淡化製水；原水所具豐富營養鹽特性，可用於養殖，依潔淨與成分特性，可用於醫藥與生機食品製造，或依成分特性，用於食品添加物

或運動飲料之製造、海水療法。另外，深層海水亦可與觀光結合，成為溫泉或冷泉之具有特色多元化休閒設施。

### 2. 淡化利用

經淡化分離的水，可作為農業、直接飲用或以水為原料之用途。

### 3. 濃縮利用

海水淡化過程產生的濃縮鹽水，可依其含鹽量作為製鹽，萃取後利用其中的鎂、鋇等金屬成份，或作為養殖與培養水，以及研製抗癌藥劑之原料。

深層海水可依用途、水量與水質需求而設計製程，利用淡化程序與分離技術的處理，降低不利於人體健康或增加有益於健康的成份。目前深層海水按淡化與分離處理，可分成原水、礦物質水、鹽水、淡水及礦物質鹽水等五個大類：

- 原水：取水後經紫外線殺菌處理。
- 礦物質水：經電透析裝置處理，以保存礦物質成分之脫鹽水。
- 鹽水：經電透析裝置之處理，將鹽分濃縮的鹽水。

- 淡水：利用逆滲透膜脫鹽裝置，濾成雜質極微的脫鹽水。

- 礦物質鹽水：利用電透析裝置，將鹽分及礦物質含量加以濃縮的海水。

依分離製程而產生的這五類深層海水可以廣泛應用於農業、水產養殖、生機食品、藥物化妝品及觀光休閒等許多產業領域：

#### 1. 原水

- 醫藥與化妝品：新材料、熱水浴。
- 水產：水產加工、活魚運輸、保鮮、養殖。

- 農業：肥料、植物工廠。

- 食品：調味料、品質改良。

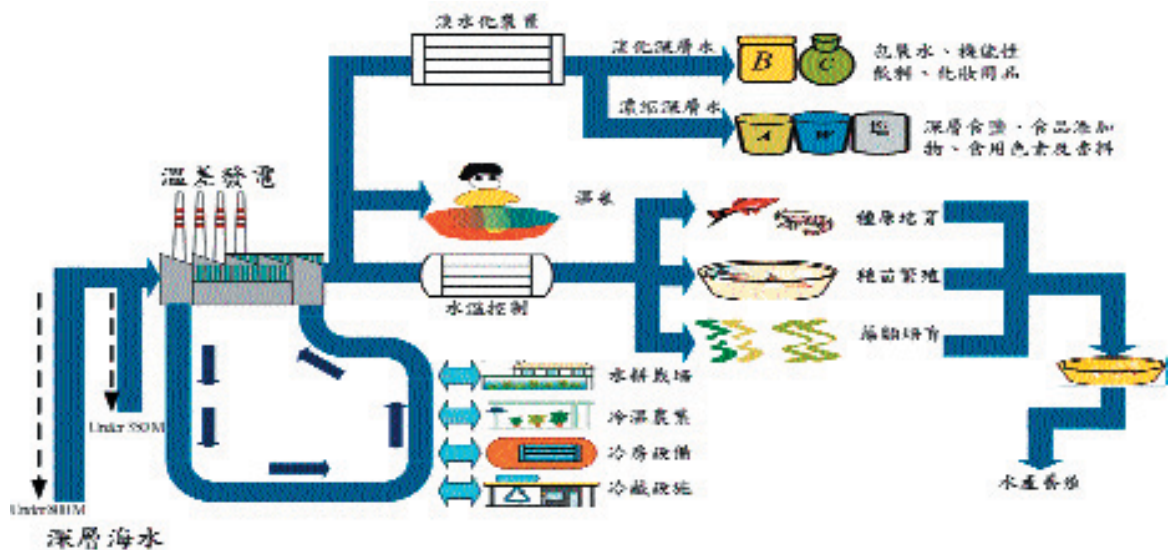
#### 2. 礦物質水

- 食品方面：飲料、健康食品。
- 醫藥、化妝品方面：生物(bio)製劑、添加劑。
- 農業方面：肥料、栽培液、土壤改良。

#### 3. 鹽水

- 食品：製鹽、製藥、食用肉品加工。
- 醫藥與化妝品：生物製劑、添加劑。
- 水產：水產養殖、加工與保鮮。

#### 4. 淡水



資料來源：台東縣政府，台東縣設置深層海水生物技術園區可行性及BOT前置作業規劃，2004年3月。

▲ 圖5 深層海水多階段多目標之用途流程

- 食品：食品加工、包裝水、飲用水、製冰。
- 醫藥與化妝品：保水液、生物製劑。

### 5. 礦物質鹽水

- 食品：發酵促進劑、製鹽、製果。
- 醫藥與化妝品：熱水浴、添加劑、美容、養顏。

由於深層海水具有多階段、多目標、多屬性應用之多重產業利用價值，因此在美國及日本等國皆利用深層海水來發展其地區產業經濟，水產養殖即是其中重要的類項。

## 三、深層海水之水產養殖利用

水產養殖是目前深層海水在產業多用途應用類項中，用水量最大，也是商業化最為成功的產業之一。水產養殖主要是利用深層海水的三個特性：

- 恆低溫，溫度變化小且安定的特性。
- 豐富無機營養鹽類，適合藻類生長的特性。
- 水質有機物質與有害病菌含量很少的潔淨特性。

深層海水在水產養殖領域中除可進行水產種魚（苗）培育、成魚（貝）飼養、藻類培養外，其使用後的水排入大海因具高營養鹽，可使海洋營養肥沃化，形成海洋牧場的功效。另外，溫差發電或冷氣空調因只利用深層海水的低溫特性，對深層海水的高營養鹽與潔淨之特性不會造成影響。因此，水產養殖之前若能與溫差發電或冷氣空調等用途

配合，利用溫差發電與冷氣空調使用後的水來進行水產養殖，則更能創造深層海水多目標用途之效益。利用深層海水進行水產種苗、成魚培養及藻類培養等，可大幅解決目前我國養殖業所面臨病菌及高污染等問題。

### 1. 水產種苗培育

病原菌與各種污染是台灣近年來養殖業的主要問題，水產種苗培育則是其中最基礎，也是最為重要的一環。水產種苗培育問題的解決，可概分為利用基因技術增強抗病能力與改善培育養殖環境、減少病原菌污染等兩種方式。利用基因技術增強抗病能力，非但會涉及研發能力與時程掌握，更有國際法律規範的可接受性疑慮，未來發展仍待評估。從改善培育養殖環境，以減少病原菌污染(Specific Pathogen Free, SPF)方向著眼，利用深層海水潔淨與豐富養份特性，作為高經濟價值水產種苗培育之用水，是解決我國養殖業問題最快速有效方法之一。

利用深層海水作為水產種苗產業之基礎，可以進一步擴及各種高經濟價值深層魚類種苗之培育，對水產養殖基礎及應用研究可產生更實質效益。目前美、日利用深層海水進行水產種苗之培育皆有顯著的成效，各類種苗非但存活率高且成長快速（圖6與圖7），應用面愈來愈廣，成為未來新興種苗培育的潮流，可以預期。

► 圖6 夏威夷幼蛤的培育

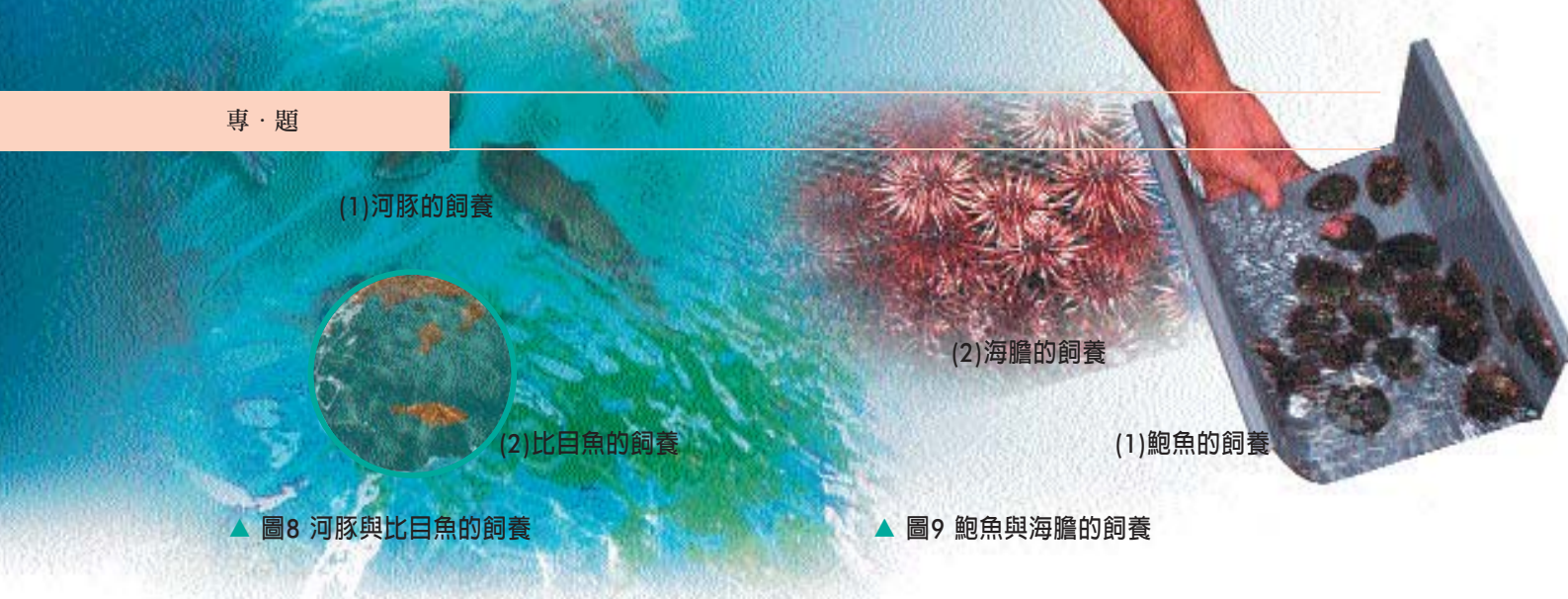
(1) 初生的蛤苗

(2) 成長中的蛤苗

(1) 蝦苗

(2) 數月後的成蝦

▲ 圖7 夏威夷蝦苗的培育



(1)河豚的飼養  
(2)比目魚的飼養  
▲ 圖8 河豚與比目魚的飼養

(2)海膽的飼養  
(1)鮑魚的飼養  
▲ 圖9 鮑魚與海膽的飼養

## 2. 成魚飼養

成魚的成長速度與存活率，與其成長環境有著密不可分的關係。利用深層海水從事成魚、貝類、蝦類等魚產飼養，因富含營養鹽，可大幅減少飼料的使用量，並可有效加速其成長。目前美、日除持續研究各類魚種之最佳養殖水溫及深層海水與表層海水之混合比率關係外，高附加價值魚種的養殖均已進入商業化階段。參考美日近年來發展之資料，利用深層海水作為成魚飼養飼料，可縮短一半之產期，成魚死亡率也微乎其微。圖8及圖9為日本高知縣與沖繩縣利用深層海水進行河豚、比目魚、鮑魚及海膽養殖之情形。

## 3. 藻類培養

藻類因含豐富氮、磷等多種礦物質成份，可以提供人體及動物營養之所需，亦是許多魚蝦貝類養殖養份之來源。利用深層海水具有高度潔淨特性，培養各種藻類，作為與營養食品、醫藥和養殖相關產業的基礎，也是未來頗值得研究與發展的重要課題。目前，在美國僅微細藻類在水產養殖方面的市場需求，就有約1億8千5百萬美元之產值，且以每年8%的成長率提升。

此外，藻類生物是海洋水生植物，不僅種類繁多，數量也極為龐大，主要是以陽光及海水所含鹽類養份為成長因素。以種類區分，藻類生物以浮游類海藻為最多，高達99%；以分佈區域劃分，藻類生物適應能力極強，從攝氏70至80度高溫，到零下數十度的低溫環境均可生長。另外，海藻生物除含有蛋白質、脂肪、糖類、纖維、碳水化合物及礦物質等多種有益於人體的營養成份，也有豐富

且種類繁多可作為食品來源的氨基酸、維生素、金屬及非金屬微量元素，同時還有可作為多種保健、生機及藥物之抗菌、真菌、病毒、腫瘤及核輻射的生物活性物質。再者，與多種蔬菜、穀類或水果相較，藻類生物所含的蛋白質、脂肪、維生素及碳水化合物更為豐富，因此至目前為止已經有多達上百種以海藻為主要原料而產製的維生素及藥理用途產品。利用深層海水進行藻類培育在美、日也證明有極佳的成效，圖10由右至左分別為日本沖繩縣利用100%深層海水、50%的深層海水加上50%表層海水、100%表層海水及100%表層海水加肥料的海藻養殖實



資料來源：攝於日本高知縣及沖繩縣。  
▲ 圖10 不同比例之深層海水與表層水所進行之藻類培育實驗

驗。從圖中可以很清楚的發現，完全由深層海水培育的海藻顏色相當深暗；100%表層海水所培育的海藻則是四者之中顏色最淡者。另外，100%表層海水加肥料所培育的海藻其顏色仍不及100%深層海水所培育的海藻，充分顯示深層海水富營養鹽之特性。圖11分別為海葡萄與海藻大量培育的情況，培育結果皆充分證明深層海水養殖效果遠優於表層海水。另外，由深層海水微細海藻養殖成魚之肉色及蝦殼、蟹殼之顏色鮮紅度皆會增加，因而可以提升成魚及蝦、蟹產品的附加價值（圖12）。

我國水產養殖之經驗與技術卓越，但因深層海水取得成本較表層海水為高，因此在水產養殖初期以高經濟價值的成魚、水產種苗培育及相關產業為主。這類產業項目與種類極多，如鮑魚、鱒魚、龍蝦、九孔、海帶、紅珊瑚、鮪魚、藻類（綠藻、珪藻、紅藻）、蝦苗、海豚及各種蛤、蠔、鰈形目魚之種苗培育，飼料生物生產、可生食牡蠣、蝦類養殖、高品質水產飼料、深海性魚類飼料、裙帶菜之製造等皆是很好的發展類項。

#### 四、結語

深層海水生物科技產業因符合高知識密集、高附加價值、低污染、低勞力需求、及低能源消耗，且可與台灣地理優勢結合，非常適合作為未來產業引進與轉型的方向。藉著深層海水的應用與發展，除可呈現並建立台灣在農漁相關產業資源、觀光資源、研發技術資源、土地資源及其他政策配合所具有的競爭優勢外，亦可提供我國未來在產業整體規劃之參考。

深層海水具「資源無限，場址有限，用途繁多」的特性，若能計畫性利用，可以發揮環境保護與產業發展並行的效益。本文著重於水產養殖應用說明，其他用途尚包括農業、食品、生機保健、飲料用水、觀光休閒、醫療、能源節約等類項，未來若能結合現有資源為基礎，配合產業發展趨勢與國家整體經濟發展政策進行規劃，可以形成一個具有競爭優勢的產業體系。以生物技術應用為主體，並以取之不盡，再生無窮且無污染深層海水為資源條件，形成多樣化與高價值產業環境，是未來推動計畫應有的方向與策略核心。



(2)海藻的培育

(1)海葡萄的培育

▲ 圖11 海葡萄與海藻的培育



▼ 圖12 細微海藻養殖的鮭魚肉色鮮紅