

專 論

海水養殖對台灣沿海地區環境衝擊之評估

An Assessment on Environmental Impacts Caused by Seawater Aquaculturing in Coastal Areas of Taiwan

經濟部水利司

國立成功大學地球科學系

徐 享 崑
Shiang-Kueen Hsu

簡 錦 樹
Jiin-Shuh Jean

摘 要

本文旨在探討與評估台灣沿海地區提倡利用海水養殖可能引起之地下水及土壤鹽化等環境公害問題，並初步研擬預防與控制措施。研究調查範圍，涵蓋所有因超抽地下水造成海水入侵和地層下陷及因引入海水造成地下水及土壤鹽化的地區，包括宜蘭、新竹、彰化、雲林、嘉義、台南、高雄、屏東、台東、花蓮及澎湖等縣。前述地區常因地層下陷，造成海岸堤防深陷，甚至多處地區低於海平面以下，每逢颱風或豪雨，時有海水倒灌或被雨水淹沒之虞，居民生命和財產安全迭遭嚴重之威脅；同時，由於地下水位在海平面以下，易使海水侵入地下含水層，造成地下水鹽化問題。海水養殖在台灣沿海地區已大量擴延，若不及早妥善因應，將會導致地下水資源劣質化及國土資源日益損減。本文所述及之海水養殖包括引入海水至內陸養殖、淺海及外海養殖等。

經本研究實地調查台灣沿海地區之各養殖區後，發覺海水養殖對台灣沿海地區之環境已造成某種程度之衝擊，因此，政府若欲輔導推行海水養殖時，除必須事先做好相關環境影響評估外，尚須就下列諸因素做充份的考量：

- (1) 引入海水養殖是否會污染地下水及土壤。
- (2) 養殖業者對海水養殖之反應。
- (3) 淺海或外海純海水養殖之技術改良。
- (4) 社會成本之評估。

關鍵詞：海水養殖、地下水鹽化、土壤鹽化、地層下陷、海水入侵、地下水及土壤污染。

ABSTRACT

This research is to find out and assess if seawater aquaculturing in coastal areas of Taiwan may take part in causing the environmental hazards such as groundwater and soil salinization, and to preliminarily draw up preventive and controlling measures. The scope of this research includes Ilan, Hsinchu, Changhua, Yunlin,

Chiayi, Tainan, Kaohsiung, Pingtung, Taitung, Hualien, and Penghu, where seawater intrusion and land subsidence are caused by overwithdrawing the groundwater and salinization of groundwater and soil happened by leading in the seawater. In these areas, landsubside further results in subsidence of the seadikes and causes many regions to be lower than the sea level. Lives and properties of the residents are greatly threatened in typhoon or storm seasons by flooding or seawater inundation. In the meantime, the groundwater level being lower than the sea level causes seawater intrude into the aquifers and thus produces groundwater salinization. Seawater aquaculturing in coastal areas of Taiwan has been greatly wide-spread. The groundwater resources will be deteriorated in quality and the land resources will gradually be shortened if without proper management. The aforementioned seawater aquaculturing includes inland seawater aquaculturing by leading in the seawater, inshore aquaculturing, and offshore aquaculturing.

The aquaculturing ponds in coastal areas of Taiwan were investigated in the field work of this research. It was found that somewhat of impacts on the environment of coastal areas of Taiwan were caused by seawater aquaculturing. Therefore, if the government intends to assess the development of seawater aquaculturing, the following factors should be taken into considerations in addition that the related environmental impact assessment must be well done in advance:

- (1) Whether leading-in of seawater will contaminate groundwater and soil;
- (2) Aquacultururer's response to seawater aquaculturing;
- (3) The technical improvement of pure seawater aquaculturing in inshore or offshore waters;
- (4) Assessment of social cost of seawater aquaculturing.

Keywords : Seawater aquaculturing, Groundwater salinization, Soil salinization, Land subsidence, Seawater intrusion , Groundwater and Soil pollution.

一、前 言

台灣西南沿海地區係屬沖積平原且部份地區地勢低窪、排水不良或土壤中含有高濃度的鹽分，其所種植的水稻、雜糧或蔬菜收成均比內陸地區差，因此，部份地區已逐漸闢為魚塭引入海水以養殖虱目魚、或利用灌溉渠道引入灌溉尾水或收集雨水以從事吳郭魚、鱧魚、草魚及鴨類等之養殖。

自民國五十年代以後，養殖技術日益進步，當時盛行利用淡水養殖鰻魚、虱目魚和改良種的吳郭魚等淡水魚類；民國六十年代更發展出以淡水及海水混合養殖草蝦、斑節蝦等鹹水魚類。不論就單位面積或單位用水量而言，其所獲平均年淨益均較水稻為高，因此，沿海地區之低產農地紛紛轉為魚塭地使用，近年來更逐漸的往內陸拓展。由於魚塭面

積以及放養密度的增加，為維持水質及鹽度，必須使用大量的淡水，而台灣地區大部分的地面水不是已分配給農業或家庭使用，不然就是受到工業、畜牧和家庭廢水的污染，不堪再使用。惟地下水水質較優、水溫平穩、價格低廉、不易受污染而且含量豐富不易受季節之影響，因此各地養殖業者競相鑿井，大量抽用地下水，若干地區早已發生超抽現象，導致地下水位劇降，引起地層下陷、海水入侵、排水困難與海水倒灌等環境公害問題。

為了不使這些問題繼續惡化，尋找另外水源是亟需的，如海水養殖就是要用海水來取代抽取地下水。然而，海水養殖若無妥善措施予以事先規範，將會造成嚴重的負面影響，易言之，地下水與土壤將會因海水之引入而鹽化，地下水不堪再使用而導致地下水資源日益減少，以及因土壤鹽化農作物不

易生長及砂石建材受鹽化腐蝕而導致可用地日漸縮水，如此，海水養殖之社會成本可能將大於抽取地下水所引起之地層下陷災害。因此，有必要針對海水養殖在台灣地區實行之可行性進行詳細的評估，評估項目應包括：(1)引入海水養殖是否會污染地下水及土壤，(2)養殖業者對海水養殖之反應，(3)淺海或外海之純海水養殖的可行性，(4)養殖事業之環境影響與其社會成本之評估。

本研究係應行政院環保署之委託進行全面調查，調查範圍，包括整個台灣沿海地區以及澎湖沿海及淺海。有些地區常因抽地下水養殖引起顯著性的地層下陷及土壤鹽化，如屏東林邊及佳冬、嘉義東石、雲林口湖、彰化鹿港、宜蘭礁溪等地區；有些地區因抽地下水養殖，尚未引起顯著性的地層下陷及土壤鹽化，但欲引入海水進行養殖，如台南、高雄、新竹、花蓮、台東等沿海地區；以及完全不抽地下水而在潮間帶及淺海或外海等純海水養殖之專業區，如澎湖地區。野外實地調查之主要目的是為了充分瞭解整個台灣沿海地區海水養殖之現況、魚塢業者對海水養殖之反應，以及引入海水養殖所引起之地層下陷、海水倒灌及海水入侵、排水不良、及土壤和地下水鹽化等環境公害之情形。

二、台灣沿海各養殖地區之養殖現況

1. 宜蘭沿海地區

本地區地下水豐富，主要分佈在宜蘭平原之砂礫沖積層，係魚塢業者抽取地下水之主要來源。本區主要之魚塢分佈在礁溪的大塢養殖專業區，共有百多甲地，其他由頭城至孝威等沿海地區亦有零星分佈。大塢養殖專業區已因抽取地下水及在海灘引入海水而發生土壤鹽化等現象。依據省環保處(1983, 1987)所測得之水質電導度值皆有偏高趨勢，尤其以壯圍及五結為甚，此因海水入侵地層致含鹽量偏高，如今再加上養殖魚塢所帶入的鹽分而使本區的土壤及地下水遭受更嚴重的污染。另外，在五結、冬山、孝威一帶之地下水水質發現有高達0.85ppm之砷含量，高出最大容許值(0.05ppm)甚多。宜蘭居民罹患腎結石及膀胱結石等尿路結石，以及尿路發炎之流行病者比其他縣市為高，根據台北醫學院(江, 1988)統計分析顯示此症與飲用地下

水有關。至於其是否由井水含砷過量或螢光腐植物質含量過高所引起則有待進一步查證。再者，當地常因豪雨成災使魚塢業者之心血付之一炬，業者在本地區養殖需要擔負極大的風險。至於在淺海或外海從事養殖之風險更高(風浪大，常有颱風及黑潮之影響)，以致魚塢業者對淺海或外海養殖之意願不高。倘若本地能闢建一完善之防水及防潮之工程設施，排水系統亦妥善加以改良，並儘早將閒置之海水集中抽水站修復讓養殖戶能充分利用海水(該抽水站完工後，因各混凝土輸水管接合處有多處漏水，使得該抽水站不得不停止運轉，而且由於在海灘抽水，該井受砂之阻塞使抽水量遞減，與原設計功能相去甚遠)，或可改善前述之養殖意願。

大塢養殖專業區之養殖用水為地下水與在沙灘抽海水引入魚塢池內混合養殖，經原子吸收光譜儀分析水質顯示其總溶固體量(TDS)及鈉吸比(SAR)非常高，SAR之計算式為 $Na^+ / [(Ca^{++} + Mg^{++}) / 2]^{0.5}$ 。如表1所示，共有四個井水樣品，其鐵、錳含量均未超過日本水產用水基準值(1ppm)，惟TDS及SAR值均非常高，按照Davis and Dewiest(1966)之分類標準，均歸類為中鹹水(Salty water)。樣品3及樣本4因在海灘引用海水，其鹹度很高是可預期，但樣品1及樣品2係取自地下水井，其鹹度竟然如此高，可見該地區地下水井受鹽化的程度極高。本地區之地下水似乎不宜用來當飲用水及灌溉水。根據美國環保署(1975)飲用水標準：TDS之最大容許值為500ppm，氯鹽之最大容許值為250ppm；而灌溉用水中TDS最大容許值為700ppm(Freeze and Cherry, 1979)。

美國農業部之灌溉用水水質基準乃依照鹽度(電導度大小或TDS含量)及鈉吸比而分類成16種類型的灌溉用水(Brown, et al. 1977)，當鹽度超過一定值時就會造成鹽害(salinity hazard)，其電導度小於250micromhos/cm或TDS小於200ppm者為低鹽害或低鹽水(C1)；電導度介於250至750micromhos/cm或TDS介於200至500ppm者為中鹽害或中鹽水(C2)；電導度介於750至2250micromhos/cm或TDS介於500至1500ppm者為高鹽害或高鹽水(C3)；電導度介於2250至5000micromhos/cm或TDS介於1500至3000ppm者為很高鹽害或很高鹽水(C4)。鈉害之程度由鈉吸比(SAR)表示，此SAR

沒有一定的標準，隨電導度之高低而變，S1為低鈉害或低鈉水：其SAR值在

10以下；S2為中鈉害或中鈉水，其SAR介於18與10之間；S3為高鈉害或高鈉水，其SAR值介於26與18之間；S4則為很高鈉害或很高鈉水，其SAR值在26以上。

2. 新竹沿海地區

本地區位於紅土土地上，地勢較高，養殖區呈零星分佈，由香山至竹北及新豐共約80甲地。養殖方式為抽地下水及引入海水混合養殖。惟地下水不豐，深抽為鹼水質。養殖區附近因紅土地形較不適合農作物生長，農作地較少，農作物受鹽害問題不易看出，沿海地區之電導度大多在250ppm以上（省環保處，1987），SAR值高達22.5，可知地下水已受鹽化。另外，需注意的是有些養殖池，沿著鳳山溪下游養殖，因該地區為海埔新生地，土質鬆軟且地勢較低，易遭其旁之鳳山溪所污染。

3. 彰化沿海地區

彰化地區之養殖漁業可分為兩種：

(1) 鹿港、伸港、線西一帶：養鰻魚抽取大量之地下水做淡水養殖，地下水水位低於海平面最甚者係在鹿港、線西一帶之海埔地，已達零下十公尺（台灣省水利局，1987）。本地區養殖之特色為不引入海水，大多數魚塭屬硬池（即四周之圍堤用混凝土砌成，底層為砂土質，可以提高養殖密度），使鹹水不易擴散，因此，本地區土壤鹽化程度不嚴重，魚塭池旁之水稻或其他及作物生長所受之影響較不顯著。

鑑於本地區因超抽地下水引起地層下陷，目前鹿港水產試驗所正從事兩種研究：一為如何將魚塭之用水量降至最低；另一為推行養殖較喜鹹水之沙梭（台灣省漁會，1987），筆者按：澎湖水產試驗所則推行更喜鹹水之魚類如黑鯛、石斑、嘉鱸等。現在本地區地下水抽水量已顯著降低，地層下陷亦漸趨緩和。雖然所替代之水源係抽海水引入池內養殖，但因當地大多為硬池而未發生嚴重土壤鹽化現象。

(2) 福興、王功、芳苑一帶：以蝦類養殖為主，因大部份之水井皆已鹽化，所以養殖戶大多是在海岸之沙灘或排水溝旁打井取水，所得之水皆

屬鹼質。本地區尚無地層下陷之報告，但地下水已受鹽化且受工業廢水污染嚴重。

4. 雲林沿海地區

本地區因養殖所引起之地層下陷，主要發生在口湖鄉之金湖村、四湖鄉及台西鄉。其中以金湖村最嚴重，至民國七十五年為止，累積地層下陷量最大已達1.4公尺（林及陳，1987）。本地區引入海水及抽取地下水養殖之魚塭面積非常的廣闊，由於超抽地下水使得地下水水位低於海平面最甚者達二十幾公尺，而地下水零公尺線也已向內陸擴張，最甚者在北港地區達二十幾公里（省水利局，1987），已接近中山高速公路附近。

金湖地區最嚴重的問題是：養殖業者常因要引入海水之便而破壞自動防潮閘門，漲潮時海水即沿著排水溝滲到公路及住屋，積水難退，嚴重時積水盈尺，一片汪洋。據省自來水公司（1987）所做之水質檢驗顯示，此地區地下水之TDS皆大於200ppm，已屬中鹽害，本區土壤及地下水既已受到鹽化，有關當局應儘快設法解決，設立專業養殖區應是可行方法之一。同時，亦應及早改善供排水系統，以免除當地居民長期飽受水患及罹患皮膚病之苦。

台西鄉之養殖專業區，由於有完善之供排水系統，且駐有專人看管自動防潮閘門，故甚少發生海水倒灌現象，可做為今後養殖專業區規劃時之良範。

5. 嘉義沿海地區

嘉義地區之養殖區分佈在東石、布袋一帶，因抽取地下水及引入海水混合養殖，並且因在海岸沙洲抽砂後填在其毗鄰之內地成為海埔新生地，以及在內陸抽砂等造成砂層滑動及自然壓密現象而引起地層下陷、積水難退情形。

此地區之地下水零公尺線已向內陸延伸約廿多公里（省水利局，1987），土壤及地下水鹽化現象非常顯著。中山高速公路以西部份之地下水水位均在海平面以下。每當颱風來臨，海水倒灌時常在東石、布袋一帶沿海地區發生，而且順著朴子溪逆流倒灌二、三十公里，造成鄰旁之土壤與地下水鹽化。為了不致使此地區生活環境繼續惡化，除非將養殖用水之供排系統做好，否則不宜再引入海水養殖，可研究在朴子溪河口北方做淺海或外海養殖，但要

避免朴子溪水之污染所可能產生的二度公害。

6. 台南沿海地區

台南七股一帶約有1600甲之魚塢，此區鄰旁為台糖之甘蔗地，因魚塢與甘蔗地間沒有適當的緩衝地帶，故土壤及地下水鹽化現象甚為嚴重，使得甘蔗不易生長。經調查發現，農地若經埋設直交式暗管洗鹽且其鄰旁有排水溝及道路予以緩衝，甘蔗生長發育情況將可獲得改善。

此地區之魚塢大都藉由排水溝引入海水至魚塢池再與抽汲之地下水混合養殖。王等(1986)及嚴(1983)曾利用原子吸收光譜儀及螢光計分析養殖用水、洗鹽井水及甘蔗地鹽斑土之化學成份及測試是否有螢光反應，結果如表2所示。其中樣品1取自魚塢之海水引入管，樣品2取自窰井，樣品3取自甘蔗地鹽斑土。樣品1、2之錳、砷含量低於容許值，樣品1之TDS為3250ppm，電導度為6560micromhos/cm，屬於極高鹽害(very high salinity hazard)，又此樣品之鹽份濃度較純海水低乃因由排水溝引入海水時被滯留在排水溝之淡水所稀釋之故，此樣品之鈉含量高達10000ppm以上，SAR為1414，屬於極高鈉害(very high sodium hazard)，而且具有螢光反應；樣品2之水樣取自窰井(在附近甘蔗地鹽斑土下方約1.5公尺處埋設有排水暗管，將藉淋洗鹽斑土中之鹽份經由此暗管排至窰井內)，其TDS及電導度均較樣品1高，且有螢光反應，SAR值為83，屬極高鈉害；樣品3取自甘蔗地之鹽斑土，SAR值為52，亦屬極高鈉害。

本區由北門、學甲、七股至西港之地下水其含鹽量皆很高，尤以七股之含量最高，由省環處(1987)之調查資料顯示其電導度高達6000ppm以上，可見其受海水之污染已相當的嚴重。

本地區之魚塢均由排水溝引入海水，已鹽化到附近農地之地下水及土壤，並且有螢光反應。至於此螢光物是由純海水而來，或由呈鹽質淡水之排水溝而來，有待進一步之分析。國內有些醫學界人士認為，有螢光反應可能致烏腳病及其伴生之癌症與心臟血管疾病，至於烏腳病之主要致病因子到底是砷或螢光物，或是兩者之混合物，或是其他物質則有待進一步之研究。台大醫學院生化研究所研究報告(呂，1989)顯示，烏腳病之致病因子主要為螢

光腐植物質(fluorescent humic substances)，然而，若其伴有金屬物質或高含量之TDS則能經催化作用而更具有生物毒性，前項研究亦發現若井水中含有螢光腐植物質，當TDS、PH值增高時，此螢光腐植物質也跟著增高。由本研究水質分析顯示本地區井水舍TDS極高(如表2所示)。此類水源若非經特殊處理而當養殖、灌溉及飲水之用途，恐有罹患烏腳病、癌症及其他流行病之虞。

中山高速公路台南麻豆至新營間之兩旁有為數不少之魚塢，藉由水圳或水溝引水入池，乾季時則就地抽取地下水，有關機關須預防因地下水超抽而造成此高速公路地層下陷問題。另外，在二仁溪下游灣裡地區之河床附近亦有養殖魚塢，對河川及附近環境污染甚為嚴重，應予制止。

7. 高雄沿海地區

高雄沿海地區之養殖魚塢可分為兩部份：

- (1)由湖內、路竹、彌陀至援中一帶的養殖魚塢，以引入海水及抽汲地下水混合之半鹽水養殖草蝦為主，其養殖面積相當的大，根據水利局於民國76年至77年一年量測結果，彌陀海堤，地層已下陷6公分，另外養殖戶自行由堤外抽取海水，其管道雜陳，有破壞海堤之虞。高雄沿海地區的養殖面積亦很大，水質受污染的地區以路竹、湖內地區最嚴重，TDS最高者以路竹地區為甚達1125ppm(省環保處，1983)，可見本區之地下水水質已普遍受鹽化。
- (2)另外一個區域由後勁溪出海口至林園的高屏溪出海口，此區由於污染性工業林立，使得後勁溪及高屏溪之水質受到嚴重的污染，造成海水被抽入引至魚塢池後污染了養殖物，例如：高屏溪出海口受油污染之海水被引入林園地區草蝦種苗培育池內，造成林園地區草蝦種苗大量死亡，而使該地區許多的草蝦種苗培育因而廢棄，此外，該地區之海堤也因密密麻麻之水管穿輸而遭破壞，其安全性堪憂！

8. 屏東地區

屏東地區由東港經林邊、佳冬至枋寮，為全台灣養殖最廣地區，地下水超抽所造成之地層下陷也最嚴重，至民國75年在鹽豐村一帶下陷量已達2.26公尺(省水利局，1987)。此地區大部份為鹽水養

蝦，因養殖池與農業地間沒有充份的緩衝地而造成嚴重的土壤與地下水鹽化問題（省環保處，1987）。顯示地下水水質之污染亦相當嚴重，東港水試所地下水井之電導度已高達2200 μ mhos/cm以上，其他地區也有偏高現象。故此區必須將養殖區劃定為一專業區並嚴格限制往內陸發展且要設定足夠的緩衝地，並要做共同之海水抽水站及供排水系統，以防海堤被破壞，這樣才能將災害減輕，養殖業才能得以發展。又本區海岸無沙灘，為一淺海養殖之可行地點，區內之大鵬灣為一瀉湖，亦可引入海水做淺海養殖。然而，淺海養殖因其技術問題有待克服，且作業不便，風險也大，當地魚塭業者對淺海養殖之意願只有約25%（孫及江，1988）。

屏東地區之養殖區現已向南延伸到恆春，以及向東往內陸擴延至牡丹、滿州等地，因養殖漸往內陸發展，引入海水不易而必須抽取地下水，如此地下水抽汲之需求量過多，加上高屏沿海屬於地層下陷地帶，導致陸地逐漸下降至接近海面以下，每逢颱風豪雨或漲潮就造成海水倒灌，高屏溪出口至屏東林邊沿海一帶嚴重的海岸後退現象。本地區海岸陸地快速下沉的原因歸納如下：

- (1) 農業收入偏低，農民紛紛改經營養殖漁業，或農地被鹽化無法耕種致轉為養殖漁業。
- (2) 地層變動因素使台東海岸上昇，西海岸相對的下沉。

因此，為了不使屏東沿海地區和其西部沿海地區繼續陸沉以及土地與地下水鹽化更加擴大，最有效的方法乃是要嚴格管制抽取地下水及引入海水，可以研究增加水源，利用表面水養殖，或往大鵬灣或淺海、甚或外海養殖等。

9. 花東地區

花東地區之養殖可分為下列二種方式：

- (1) 台東大武至尙武段之養殖區：大部份以引入海水養殖草蝦為主，因其排水溝及養殖池之水污染到地下水及土壤，造成地下水之不能使用，故此區必須做好一完善之排水系統，以及養殖池之預防鹽化等措施。另外，在南田地區有新開發養殖專業區，此區以在海灘抽取海水來養殖草蝦、斑節蝦等，省環保處（1987）調查顯示有些地方如成功、太麻里、大武及卑南之地下水水質電導度有偏高之現象。

- (2) 海岸山脈沿海之養殖區：本地區為地下水貧瘠的區域，又其海岸乃礁岸，魚塭是以在礁岩上開闢九孔、龍蝦等養殖為主，其全是以引入海水之純海水養殖，目前可能引起的公害就是可能會破壞自然景觀。

- (3) 花東縱谷之養殖區：位於花蓮與台東以及中央山脈與海岸山脈間之狹長形縱谷，屬沖積層地區（多卵石及砂礫層），間有台地，地下水含量相當豐富（省環保處，1987），往東愈接近海岸山脈愈豐富。此區有將近2/3的養殖區面積分佈在壽豐鄉，在花蓮的壽豐等地常見自噴井及湧泉，愈往東此現象愈顯著直至海岸山脈為止，當地居民利用此地形開闢池塘從事淡水養殖，其中包括吳郭魚、草魚、鱧魚等及淡水干貝類。此區無工業污染，又不需引入海水，水質良好不含鹼質，本區地下水水質質鹽低，TDS低於最大容許值。本區因自噴井及湧泉豐富不需大量引入海水，故不會引起地層下陷及鹽化的問題，為台灣地區陸上養殖最不會引起環境公害地區之一。

10. 澎湖地區

澎湖地區四面環海且無河川、湖泊，下雨又少，平均年降雨量為1024公厘，而且分配極不勻稱，4月至9月佔80%，其餘為20%。蒸發多，年平均水面蒸發量為1800公厘，為降雨量之1.8倍，且風速大，年平均風速達6.2m/sec以上，歷年風日多達137天（省水利局，1982），澎湖群島係由玄武岩所組成，其厚度約在100公尺左右，岩石出露甚多，表土甚薄僅有數十公分，此為淺水井地下水之主要來源。因風大致土壤保持力低，農作物及造林不易。建水庫蓄水之條件極差，一則澎湖群島四週無黏土，下雨後大部份雨水順著表面砂及玄武岩逕流至海，再因蒸發量大，使水庫無法受天然降水補注以致在旱季時常呈乾涸狀態。在人口密集的馬公市、湖西鄉、白沙鄉等地所面臨水源缺乏問題日趨嚴重，目前澎湖地區之自來水水源在非雨季時皆來自地下水井，今大部份人口密集地區之淺水井均顯現乾涸狀態而朝深井汲水，由於水井之含水層位於厚厚的玄武岩下方，雨水總是被玄武岩之厚塊所阻隔而逕流於海無法補注於此含水層，因此澎湖地區常臨水荒問題，有關單位宜早日策謀以為因應。所幸的是，

澎湖地區之養殖業均利用海水之潮間帶、淺海或外海養殖，以及抽海水至沿海陸地之陸上養殖。魚種大多為海水魚如石斑、嘉臘魚、黑鯛等；在淺海或海岸地區亦有紫菜養殖。澎湖地區之養殖漁業大致可分為下列幾種：

- (1)在淺海或外海之箱網養殖，以養殖嘉臘魚、石斑、黑鯛為主，分佈在西嶼鄉赤馬村大果葉養殖區及在馬公鎮南方由民間經營的蔴裡養殖區。大果葉養殖專業區，有內灣保護，水深10公尺，離岸約1公里，係以木框箱網養殖。但澎湖地區的箱網尚沒有做到遙控自動浮沉式的設計。將來，若能在台灣本島做大規模的淺海或外箱網養殖時可朝自動投餌及用遙控式箱網自動浮沉方式管理（即遇颱風大浪時用遙控讓箱框沉下，風平浪靜後再讓其浮上）。
- (2)在潮間帶養殖，將沙洲挖探闢為一大型之專業養殖區，如湖西鄉永安養殖場及紅羅村養殖場以養殖石斑、嘉臘及鰻魚為主，以及在淺海養殖牡蠣及紫菜等，如西嶼鄉大果葉養殖區。
- (3)引入海水至沿海陸上封閉型之水泥池中養殖，如白沙鄉瓦硯村養殖場，以養殖石斑為主，因該場接近海岸，地下水位非常接近地表，時有湧泉發生，因石斑喜鹼質，為了不讓湧泉上升於池內而稀釋了海水之鹹度，故池底常用水泥漿砌，但日子一久，由於湧泉之上湧力而使水泥池底常生龜裂。
- (4)沙灘圍堤引入海水養殖，如湖西鄉青螺村之斑節蝦養殖場其池面積為一般養殖池的十幾倍大，是全國最大斑節蝦養殖場。

以上四種養殖方式皆不會污染到地下水及土壤，如外海之箱網養殖及潮間帶養殖或可為台灣本島養殖之範例。

三、海水養殖狀況

綜合本文前面之描述，得知所謂的海水養殖包括引入海水至內陸養殖，以及在淺海或外海養殖。

3-1 引入海水至內陸養殖

為在沿海地區引入海水至魚塢及抽取地下水等混合而成的淡水水混合魚塢養殖，經過混合後可稀釋鹼度而能促進養殖物較快速成長，此種魚塢大多養鹹水魚類，如草蝦、斑節蝦…等。

本研究曾經就台灣沿海魚塢地引入海水養殖進行野外調查，有許多跡象顯示由於引入海水之渠道施工不良，或養殖魚池之設備不全導致海水漏出，滲入地下含水層，污染了地下水源及土壤，如台東大武至尙武段之養殖地區，引入海水後使該地區之地下水日漸鹽化，當地之地下水井幾乎不能飲用，自來水公司只好到較遠處引地下水供居民使用。另外，在屏東佳冬、林邊地區，由於地下水受到污染，使農田無法取得淡水，不能耕作而只能變成養殖池或生產抗鹽度較高的「黑珍珠」蓮霧。在台南七股養殖場旁邊的農地皆受到嚴重的鹽化，在土壤的表層皆能看到白色的鹽斑，其養殖魚塢中的水份亦有螢光反應及重金屬離子，可見水質已受嚴重污染。因此，引入海水養殖是很有可能會污染到土壤及地下水，我們必須提出妥善的方法，讓海水養殖的污染減至最低，不然就如同超抽地下水一樣會帶來嚴重負面的環境影響。

3-2 淺海或外海之純海水養殖

為在潮間帶沙洲、淺海、或外海闢為魚塢做純海水養殖。如在澎湖湖間帶沙洲闢大型魚塢地讓海水由海潮閘門漲潮時引入，成為潮間帶養殖，利用海潮漲退進行水的交換。其養殖物大多為嘉臘魚、黃錫鯛、石斑、青嘴魚、花格魚…等較高經濟之魚類。

淺海或外海養殖，在台灣尚屬發展階段，惟要將養殖事業移入海中尚要考慮許多的因素，例如：

1.潮間帶養殖：

所謂潮間帶地下池，即在小潮時尚可早出的潮間帶挖掘長10公尺、寬5公尺、深2公尺之方形洞穴，周緣以水泥、石塊砌矮牆，上覆網片以防魚逃逸，漲潮時被海水掩蓋，退潮後魚池四周早出，俾行投餌。由於此種養殖魚池設備費低，且較不受強風巨浪沖襲破損，水溫變化小，在澎湖地區近年來開發至為熱絡。其最大的缺點，就是在地形上必須是以岩石為主的海岸，因為在沙岸上，砂質容易流動無法築成此種養殖池，另外，就是退潮時水中溶氧消耗很快，排水需配合退潮時限，水質較難控制。故在台灣西南沿海的砂質海岸很難施行，其他岩質海岸如加強打氣設施及排水道的改良，尚不失為一優良的養殖方式。

2. 箱網養殖：

箱網式養魚乃是在水面架設各種型式的箱狀漁網來進行養魚，因四周是由網隔離而成，網內外的水可自由交換，故可行高密度的養殖。箱網是由框架、網身、浮筒、固定錨等組合而成。有框架之優點是能便於投餌，但其缺點在於禁不起狂風巨浪之打擊，基於此，近年來便設計出不使用框架而由網身、浮筒、固定錨所組成的軟式箱網。箱網養殖設置地點是否適當基於下列因素之考慮：(1)風浪不過份強烈；(2)潮流暢通，箱網內外的流速差之比值約 $1/2 \sim 1/3$ ，流速的減少會導致溶氧降低而影響放養量；(3)水溫適宜；(4)適當的水深（約10公尺）；(5)出海口之河川水質無公害及降低鹽度之虞；(6)交通便利；(7)公共安全設施齊全；(8)視野廣闊，管理方便；(9)無紅潮危險，因若海域遇有紅潮發生，該水域的生物均會因缺氧而死亡（顏，1987a及1987b）。箱網養殖在實行上之困難及應注意的事項如下：

- (1)箱網養殖必須考慮到氣象的變化，如遇颱風時的防範措施。最好在地形上有內灣的保護，台灣本島大多缺乏內灣的保護，故在技術上必須再改進到如日本的箱網養殖自動化浮沉設施及外海大型橡膠框架箱網，其可抗強風大浪，避免災害，是值得學習的方法。
- (2)飼料上的花費可能會提高，因為海上養殖為一開放式之養殖，飼料必須改用營養成份完全者（亦即每種養份皆需具備者）。而且，投餌時不能投得太快、太多，否則會來不及被養殖物吸收而形成浪費且恐有於積於網使水循環不良、溶氧缺少、及造成海洋污染之虞。
- (3)作業上的不便，在澎湖訪問時漁民表示，如遇強風大浪時，往往兩三天無法飼養，所以作業上亦必須尋求改進，最好在收成技術及管理技術上由有關單位示範，另外，日本的自動式投餌設備亦可做為參考。目前在澎湖之海上箱網養殖的規模皆很小，面積只有幾百平方公尺，將來若能在台灣本島實施大規模之箱網養殖時則可仿效日本，實施自動化管理。
- (4)魚苗之供應問題，一旦做大規模飼養必須要能提供充足的魚苗。
- (5)魚病的控制，目前箱網區發生魚病即有束手無

策之感，因為罹病魚在發現時大都已無食慾，故無法經口藥，而藥浴或打針更無從著手，因此最好平時能做好預防的工作。

- (6)箱網養殖時附著物如青苔、貝類易附著於框架及網身，此附著物不但有礙海水之暢通而影響網內的溶氧，而且也會刮傷魚體，因此，附著物需常清洗，並以換網身、擦、藥物浸泡等方法處理之。
- (7)海上養殖的所有權問題，原本外海是國家所有，如今要利用，是否以承租方式行之，且依現有魚塢地者是否有優先承租條件，有待進一步考慮。
- (8)一旦將養殖業移往海上，則舊有的魚塢地必須做妥善的處理，否則因其土地已受鹽化別無其他用途，陸上養殖可會死灰復燃。總之，如有關單位欲推廣淺海或外海養殖，在技術上確立、相關單位（魚病、飼料、管理技術）之配合、市場之開發及養殖成本之經濟分析等層面上皆須有妥善規劃，否則養殖戶不會冒險投入。

四、養殖事業之社會成本評估

本研究之社會成本評估僅係初步的定性分析，至於詳細的定量及定性分析則有待進一步研究。茲就台灣地區各種養殖所引起的環境公害與社會成本做初步評估如后。

4-1 抽汲地下水養殖

其優點在於地下水水質不受工業、畜牧及家庭廢水的污染，水溫穩定，可以調整養殖池的溫度等。但在過度超抽之下，會引起嚴重的地層下陷、海水入侵、土壤及地下水鹽化、排水不良等問題，而且地層下陷一旦發生，則無法再復原且亦會危及河海堤之安全，鹽化地欲使之復原所費不貲。如此之社會成本將會大到無法估計之地步。黃（1987）指出，屏東縣五個地層下陷較嚴重的鄉村每年國家須付出的社會成本是一百零八億新台幣。這五個村是：

- (1)塭豐村，地層下陷達2.25公尺，其社會淨效益每年每公頃達負1500萬元，此地區養殖面積有567.5公頃，因此，此村每年社會淨效益總值是負八十五億一千兩百五十萬元。
- (2)林邊鄉，其地層下陷達2.28公尺，每年每公頃

社會淨效益為負八百二十七萬元，此地區養殖面積有228公頃，此地每年社會淨效益總值是負十八億八千五百五十六萬元。

- (3)水利村，地層下陷達1.9108公尺，每年每公頃社會淨效益為負188萬元，此地區養殖面積有166.5公頃，每年社會淨效益總值是負三億一千三百零二萬元。
- (4)大莊村，地層下陷達1.865公尺，每年每公頃社會淨效益為負53萬元，養殖面積有162公頃，每年社會淨效益總值是負八千五百八十六萬元。
- (5)新龍村，地層下陷1.1889公尺，每年每公頃社會淨效益為負十七萬元，養殖面積有159公頃，每年社會淨效益總值是負兩千七百零三萬元。

綜上以觀，這五個鄉村因地層下陷所造成的負面社會淨效益值高達一百零八億兩千三百九十七萬元。而台灣地區因抽地下水造成地層下陷者尚有雲林口湖、彰化鹿港、嘉義東石、宜蘭礁溪等地，可見政府對養殖業所需付出之社會成本是多麼的龐大。

其實，養殖業者本身也付出相當大的代價，黃(1987)指出，屏東地區地層下陷只要達到1.5公尺，連養殖戶自己都遭殃，其本身生產淨效益也是負值。因為他們將面臨海水倒灌，因排水不易而致使養殖物病變叢生，地價大幅下降，以及增添翻土費用等開支。因此，養殖業表面上固然受益，但前述之額外支出已把所得抵減殫盡，而且又要國人付出社會成本，真是得不償失。

4-2 引入海水養殖

引入海水的優點就是可以免因超抽地下水而引起的海水入侵、地層下陷及排水不良等問題，但同樣會引發地下水及土壤鹽化的問題，若沒有妥善的因應措施將會因嚴重的鹽化而使地下水及可用地（包括農耕地、建築用地及建築材料）資源更加減少，是故，其社會成本將會遠大於抽地下水所引起環境公害造成的社會成本。

4-3 淺海或外海養殖

其最大優點就是可以免除在陸地養殖所造成的公害，但進行社會成本分析時需考慮是否會破壞自然景觀或污染海水等。利用箱網養殖，其對環境所造成的公害或許會很小，社會成本也可能很低，然

而，養殖業者因需克服海上養殖所面臨之困難，如此將增加業主之直接成本，降低其養殖之意願。政府若能妥善的規劃大規模之海上養殖，並使其自動化，魚塭業者當較能樂於接受。根據日本之經驗，海上養殖不會比在陸上貴，因為下列因素：(1)陸地地價貴；(2)海上養殖無砂質，肉質鮮美且不受污染，故養殖物售價會較高；(3)沒有地層下陷、海水入侵、地下水及土壤鹽化、排水不良等問題，故魚塭地較不易滋生病媒；亦不會因鹽化而使土地價格劇降。

4-4 利用地表水養殖

台灣的地表水利用率還很低，大部份都進流入海，至為可惜，所以地表水之利用仍為一重要的水資源。所謂地表水即引用水圳、灌溉尾水或收集雨水，其主要必須解決的問題就是如何將水蓄存及減少水之污染。利用地表水養殖將不會有上述環境公害的問題發生，但若引用受污染之地表水將對國人的健康造成莫大的威脅，其社會成本也難以估計。

綜合以上之基本考量，台灣地區目前所面臨海水養殖的問題是：台灣各地之養殖區若引入海水且用軟池（即不砌混凝土），大半有鹽化問題；魚塭業者對陸上之海水養殖早已習以為常，不太關心會造成環境公害及社會成本的問題；至於淺海或外海養殖，因管理作業不便且有些地區需面臨強風大浪之冒險，對箱網養殖也沒有多大的認識，政府亦尚未妥善輔導，故台灣各地之養殖業者對淺海或外海養殖的意願有待提升。

五、重要發現

研究調查發現為台灣地區之烏腳病及其所伴生之皮膚癌、膀胱癌、前列腺癌、肝癌、腎臟癌、糖尿病、甲狀腺癌、尿路結石、尿路發炎以及青蛙肢與天使翼等與使用井水有關之流行病皆發生在含鹽份甚高之地區，不是在台灣西南平原就是在宜蘭蘭陽平原。西南平原盛行烏腳病及其伴生之癌症；蘭陽平原則普遍流行尿路結石和尿路發炎，但尚無烏腳病例發生，種種跡象顯示鹽分會使TDS及PH值增高，若地下水水質含有烏腳病之可能致病因子「螢光腐植物質」，則會因TDS及PH值之增高而使此腐粒物質含量增高，經如此之催化作用而具毒性。由

表1 宜蘭礁溪大塭養殖專業區之水質分析

成份 採樣地點	鐵 ppm	錳 ppm	鈣 ppm	鈉 ppm	鎂 ppm	TDS ppm	SAR
樣品1：大塭路60號水井 (取水井深20公尺)	0.46	0.29	275.6	1164.7	187.3	14,000	77
樣品2：大塭路60號水井 (取水井深40公尺)	0.45	0.41	255.2	1194.7	197.0	11,100	79
樣品3：堤岸外沙灘取海水，井深15-20公尺 (在海水集中抽水站旁)	0.95	0.22	—	—	—	>20000	—
樣品4：堤岸外沙灘取海水，井深15-20公尺 (在海水集中抽水站向內陸約100公尺)	1.05	0.22	—	—	—	>20000	—

表2 台南七股溪南村三股農場26號甘蔗地之土質與其旁養殖魚塭之水質分析

成份 採樣地點	電導度 μ mhos /cm	TDS ppm	錳 ppm	砷 ppm	鈉 ppm	鈣 ppm	鎂 ppm	螢光 反應	SAR
樣品1：魚塭池內之海水引入管 (離洗鹽窰井向西約100公尺)	6560	3250	0.08	<0.01	>10000	35.7	64.5	YES	1414
樣品2：洗鹽窰井 (manhole)	11600	5820	0.08	<0.01	760	52.4	113.5	YES	83
樣品3：甘蔗地鹽斑土	—	—	—	—	—	375	40.5	—	52

此可知，引入海水至內陸養殖，會使土壤及地下水鹽化範圍向內陸擴大，烏腳病盛行地區也可能因而擴大。

在台灣鹽分地區引用井水者不在少數，利用井水進行水產養殖及灌溉者更不勝枚舉。使用井水地區較易解決，只要不喝井水而改喝自來水或在家中裝置有毒物質祛除器即可；但用井水養殖及灌溉，因其抽水量很大，不易用自來水取代或將毒物祛除，因此，防不勝防。最好的方法乃是不要將海水引入內陸養殖，也不要抽汲地下水養殖，因在沿海地區鹽分地之地下水可能含有致烏腳病的螢光腐植物質而且也可能帶來地層下陷災害。因此，為了顧及全體國民之健康及不使可用地與地下水資源因鹽化而日益縮小，陸上海水養殖的行為實不為可取，政府應鼓勵養殖業往淺海或外海養殖發展，甚至輔導轉往海外投資養殖。

六、結 論

台灣的養殖事業曾經為國家爭取些許外匯，亦讓少數低收入漁民有一發展的餘地，但在缺乏完整的養殖規劃之下，使得魚塢地如雨後春筍般大量產生。在地表水源供應不足之情況下，紛紛抽取地下水來養殖，致使局部地區之地下水嚴重超抽，引起地層下陷、海水入侵、地下水及土壤鹽化等現象。為防止地層繼續下陷，政府漁政單位便倡議輔導海水養殖，但部份地區之海水養殖係將海水引入陸地養殖，又衍生地下水及土壤鹽化的問題。本研究即係在問題還沒有擴大到不可挽救之地步前，能有一完整的規劃設施，將可能發生的災害減至最低。經勘察過全省各地的養殖地區後，發現一旦將海水引入陸地以後，要將之排出必須花費相當大的代價。

另外，近年來國內養殖業由於遭受東南亞各國及中國大陸草蝦養殖互相競爭前景堪虞，所以，養殖業如果要繼續維持下去且又能與當前之社會利益相符合的話，除了以海水養殖高價值魚蝦來改變養殖型態外，尚必須能不危害社會環境。

綜上以觀，台灣地區之養殖業為了避免地層下陷、地下水及土壤鹽化等問題，往海上養殖及（或）鼓勵魚塢業者往海外投資養殖是最好的方法。然而，海上養殖需要考慮到下列因素：

1.有潮間帶之沙洲可闢為一大規模之潮間帶養殖

專業區，但須預防河口之水污染。

2.若無潮間帶之沙洲可作淺海或外海養殖，但需克服下列因素：

(1)箱網是否能克服強風大浪之打擊。

(2)投餌、管理及收成時作業是否能自動化，使魚塢業者不會覺得海上養殖之不便，而能增加其海上養殖之意願。

(3)種苗供應是否沒問題，及其是否能抗海水中特有細菌之困擾。

(4)鑒於國內工資較東南亞及南美州各國高，在相互競爭之下，海上養殖的海內外市場如何，是否依然有利可圖。

另外，往海外投資養殖則需考慮經濟上是否可行，以及該國之政經是否穩定。

七、建 議

基於抽取地下水會造成地下水水位驟降，衍生地層下陷、海水入侵及地下水源日趨減少等問題；引入海水又會引起土壤及地下水鹽化現象；而淺海與海水養殖目前又有天候上及技術上的種種問題有待克服；完全停止養殖又不可能，故本文建議：

1.將養殖區劃分幾個排水盆地（drainage basin or watershed），在此盆地內規劃設大大小小之蓄水池（池塘），攔蓄雨水做為養殖用水之可用水源。此蓄水池可減抑水溝或河流之洪峰量，而降低洪水發生的頻率；同時亦可做為魚塢地農地間之緩衝地帶，以防止鹽水入侵；也可做為山坡地與河流或水庫間之攔砂控制地，以利河流之排暢及減少水庫淤砂問題。

2.做一海水池，集中引入海水，以供應魚塢用水，但其四週必須有淡水池或緩衝地帶。

3.魚塢地與農業地間之緩衝帶所需寬度與養殖池高度、地質、地層、土壤類別、鹽水在土壤中之入滲率及擴散速率及時間有關，需做進一步之評估研究。

4.引入海水之魚塢池，其四週可用混凝土漿砌，底部用塑膠布或較不透水之土壤襯砌，以防止鹽水外滲、避免鹽化鄰近之土壤，惟亦必須考慮其生態之平衡及飼料之改變是否具有養殖之價值。

5.在養殖區（尤其是已發生地層下陷者）妥善的

整體規劃引排水系統，海水之引入及廢水之排出於海皆須妥為佈設，如此將可避免或減少因廢水無法排出致使池內細菌滋生、養殖物暴斃之現象。同時，排水渠道四週應砌內面工，以防鹽水滲透污染附近土壤。

誌 謝

本研究承蒙行政院環保署給予經費上的贊助（EPA-78-003-19-053）。野外調查期間承蒙台灣省水產試驗所各分所、台糖試驗所、宜蘭礁溪農會等鼎力相助，以及眾多受訪的魚塢業主對海水養殖意願反應，使本研究之野外調查工作能順利完成，銘感不已。本研究亦蒙屏東技術學院水產養殖系孫寧博士及土木系丁澈士講師的熱心參與及提供寶貴意見，使得本研究內涵增益不少，在此一併謝。

參考文獻

1. 水資源統一規劃委員會，台灣地區地下水開發利用及保育，1986。
2. 王百祿、楊柏椿、張玉鑽、姚財寶，直交暗管排水改良鹽斑地之研究，台灣糖業研究所研究彙報第112號，1986。
3. 王明果，台灣地區土壤圖，中興大學土壤調查試驗中心，1987。
4. 台灣省水利局，澎湖地區水資源開發基本計畫，1982。
5. 台灣省水利局，地下水文觀測成果報告：蘭陽、新竹、彰化、雲林、嘉義、台南、高雄屏東、花蓮、台東等地區，1987。
6. 台灣省水產試驗所澎湖分所，澎湖淺海養殖規劃報告書，行政院農委會研究報告，P.127及P.179，1986。
7. 台灣省自來水公司，台灣地區水質檢驗統計（1985—1986），1987。
8. 台灣省漁會，沙梭之繁養殖，1987。
9. 台灣省環保處，台灣地區地下水水質年報，1983。
10. 台灣省環保處，台灣地區地下水水質年報，1987。
11. 江漢聲，宜蘭地區深井水使用和可能相關疾病的統計報告，環境保護與生態保育研討會論文專集，P.95-102，1988。
12. 呂鋒洲，台灣烏腳病區井水螢光物質之研究，井水中的螢光強度、砷濃度、PH值與總溶固體物與烏腳病流行度間的相互關係，台灣烏腳病防治小組烏腳病之研究報告第三十三輯，1989。
13. 林永德、陳守強，台灣沿海地區地盤下陷之研究，行政院農委會水利特刊第一號，1987。
14. 孫寧、江榮吉，養殖界對投資海外養殖事業之看法，中國水產第421期，P.20-34，1988。
15. 黃宗煌，草蝦養殖社會成本的評估分析—屏東地區的個案研究，台灣土地金融季刊24（3）：11-32，1987。
16. 顏技麟，箱網養殖，台灣省漁會，1987a。
17. 顏技麟，澎湖經濟海水魚箱網養殖，台灣省水試所澎湖分所報告彙集，P.78-85，1987b。
18. 蕭慶章，台灣地區地下水位變化與地盤下陷概況，地盤下陷研討會論文集，P.135-159，工研院能源與礦業研究所主辨，1988年6月2、23日，1988。
19. 嚴式清，鹽分地暗管排水改良成效調查評估暨資料編輯，農業工程研究中心，1983。
20. Brown, R.H., Konoplyantsev, A.A., Ineson, J., and Kovalevsky, V.S., 1979, Ground-Water Studies, Supplement No. 3, Studies and Reports in Hydrology 7, UNESCO.
21. Davis, S.N., and DeWiest, Roger J.M., 1966, Hydrogeology, John Wiley & Sons, New York, P.463.
22. Freeze, R.A., and Cherry, J.A., 1979, Ground Water, Prentice-Hall, New Jersey, P.604.

收稿日期：民國82年10月8日

接受日期：民國82年10月28日