

台灣西南沿海養殖貝類大量死亡原因之研究

曾文陽

STUDY ON MASS MORTALITY OF CULTURED SHELLFISHES IN THE SOUTHWESTERN COAST OF TAIWAN

Wen-Young Tseng

(Received, August 1, 1975)

The study on the causes of mass mortalities of the cultivated oyster (*Crassostrea gigas* Thunberg) and hard clam (*Meretrix luseria* Roding) was started by setting 13 observing stations along the nearshore of Tong-shi and Chin-hu in October, 1974. Routine field survey was carried out thereafter at least once per month. The work was more emphasized during the so-called mass mortalized period when a team of five TFRI staff members had a two months stay at field this year. A series of field surveys, that offered much more valuable materials for the work, were conducted after each heavy rainfall, especially on 8th, 29th April and 17th May. These included study of river outflow, water quality analyses, and cultural and transplanting experiments. Besides these, several bioassay works were also undertaken to find out the toxicities of polluted river water. The main results are as follows:

1. The phenomenon of mass mortality of cultivated shellfish, which have appeared in April-May each year since 1969, was mainly caused by the toxic effect of polluted water discharged from the industrial plants of the upstream of rivers.

* 台灣省水產試驗所資源系

Department of Marine Resources, Taiwan Fisheries Research Institute

* 本工作係蒙農復會補助，本篇成果曾口頭報告於民國64年4月29日在嘉義東石鄉農會由農復會與漁業局主持之西南沿海貝類死亡調查檢討會，並於是年8月20日向水產評議會提出工作報告
This work was supported in part by JCRR Grant no. NSC-A31-O-861. The oral and the written reports were presented at the Shellfish Mass Mortality Investigating Workshop held at Tong-shih by JCRR and Taiwan Fisheries Bureau on 29th April, 1975, and to the Consulting Committee on Fisheries Commission held at TFRI, Keelung on 20th August, 1975.

2. Sediments of waste water revealed significant lethal effect to shellfish in bioassay.

3. The happening of mass mortality had close relationship to the first heavy rainfall in south-western Taiwan, which often comes in April-May each year following a long duration of dry season of November to April.

4. The mortality rate of shellfish was varied with the extent of polluted condition of nearby rivers, while topography and duration of submerging time were partly responsible for the variation of mortality rate within one local area.

5. The planktonic bloom, which appeared after the second heavy rainfall this year, supplied plenty of foods for the growth of shellfish, however the "red-tide" seemed not responsible for the mass mortality this year.

6. The high mortality rate was also ascribed to over-density culture. In our conclusion, suitable density is better not over 3000 catty/hectare for the size of 500 individuals/catty of hard clam. (1 catty=0.62kg)

7. Transplantation had some advantages to prevent the clams from being killed if the process was not undertaken too late.

For the previous problems, several remedies were suggested below:

1. To shorten the duration of submerging in waste water, it is better to take cultivated oyster from oyster-self for safety after heavy rainfall

2. To collect the cultivated clams in cloth-bag or bamboo basket and keep them under constant moisture condition is recognized as a possible method for short-time survival.

3. Once suffered toxicities the clams would emerge from sandy bottom. The way to rescue them is to transfer them to a clean water.

4. Sand-filled bag or cloth-bag was proved to have some filtering effect to the entrance of waste water.

5. For the safety of shellfish cultured in fishpond, it is advised not to renew water until seven to ten days after each heavy rainfall.

前 言

牡蠣及文蛤為本省最重要之淺海養殖貝類，根據文獻記載，本省牡蠣種類有14種，蛤類有5種，其中以長牡蠣*Crassostrea gigas* Thunberg 及文蛤*Meretrix lusoria* (Roding)為主要之養殖種類(郭，1964)。本省養蚵已有二百多年的歷史，在1953年(民國42年)全省牡蠣養殖面積已有5,530公頃，生產量為5,588公噸，以彰化、雲林、嘉義及臺南為主要產區。早期的養殖方式以插淇法為主偶有撒石塊與插蚵殼等方法，視其環境不同而異。直至1960年(民國49年)高雄地區首先採用垂下式養殖試驗成果良好，始逐漸推廣，養殖面積增至8,676公頃，目前，本省牡蠣養殖約有三分之二屬於垂下式養殖，僅彰化、鹿港一帶仍以插竹法為主。1972年養殖面積達9,523公頃，年產量13,668公噸，價值約30,300萬元，佔淺海養殖75%左右。1974年養殖面積略為減少，但根據調查1974年則有顯著的增加。(見表一)

表一 臺灣省牡蠣養殖積面 (公頃)

(資料來源：臺灣省漁業年報，小數點以下由作者四捨五入)

Table 1. Culture area (hectare) of oyster in Taiwan (1953—1974)

年份	臺北縣	新竹縣	臺中縣	彰化縣	雲林縣	嘉義縣	臺南縣	高雄縣	屏東縣	澎湖縣	臺南市	高雄市	合計
1953	—	338	134	1,185	600	850	729	520	—	—	555	419	5,530
1954	—	342	157	1,185	650	870	729	540	—	—	545	419	5,438
1955	—	342	178	1,185	650	870	729	540	—	—	505	419	5,418
1956	—	342	163	1,185	650	870	729	540	—	—	505	441	5,385
1957	—	348	163	1,185	650	820	729	457	—	—	481	445	5,278
1958	—	356	200	1,185	820	1,100	729	557	—	—	360	021	5,526
1959	—	360	260	1,185	1,370	1,430	729	457	—	—	360	170	6,322
1960	—	305	253	1,185	2,700	2,000	735	456	—	—	372	270	8,676
1961	—	198	302	1,585	1,800	2,000	740	478	—	—	372	100	7,576
1962	—	194	302	1,585	1,694	2,000	745	478	—	—	372	100	7,471
1963	—	198	434	1,585	1,690	1,893	745	546	—	—	372	125	7,588
1964	—	203	434	1,585	1,663	1,980	745	505	—	—	372	125	7,892
1965	—	420	456	2,030	1,675	2,061	750	480	—	—	370	125	8,347
1966	—	430	302	2,051	2,601	1,570	782	430	24	—	250	127	8,567
1967	5	430	332	2,106	2,910	1,670	782	442	5	—	250	250	9,181
1968	5	426	332	2,106	2,991	1,711	782	450	4	—	250	250	9,312
1969	10	410	405	2,106	2,987	1,848	782	4,0	8	—	250	200	9,469
1970	—	—	437	2,317	3,295	1,820	566	360	9	—	250	200	9,253
1971	—	420	490	2,320	—	1,931	565	475	10	—	97	40	6,355
1972	7	445	490	2,355	3,360	1,836	565	480	10	1	7	7	9,523
1973	—	477	442	3,350	3,370	1,836	—	—	—	—	—	—	8,405
1974	—	405	265	2,353	3,520	1,149	382	480	10	5	74	—	9,274

本省文蛤的養殖是在1920年(民國9年)自日本引進以後，逐漸發展成爲本省最主要的淺海養殖貝類之一，與養殖牡蠣同是最大衆化之海產食品，營養價值極高，比起牡蠣養殖，文蛤養殖可稱爲一新興事業，其發展頗爲迅速，在1953年時，本省文蛤養殖僅限於台北縣、高雄縣及高雄市的57公頃，1961年則增至1,203公頃，8年間成長20倍之巨，而在海埔新生地的擴展，與文蛤養殖積極的推廣下，養殖面積不斷增加，至1973年全省養殖面積已高達4,331公頃，以臺中、雲林增加的幅度最大，目前年產量可達7,700公噸左右，以臺中、彰化、雲林及嘉義爲主要產地。(見表二)

表二 臺灣省文蛤養殖面積(公頃)

(資料來源：臺灣省漁業年報，小數點以下由本作者四捨五入)

Table. 2. Culture area (hectare) of hard clam in Taiwan (1953—1974)

年份	臺北縣	新竹縣	苗栗縣	臺中縣	彰化縣	雲林縣	嘉義縣	臺南縣	高雄縣	屏東縣	澎湖縣	臺南市	高雄市	合計
1953	2	—	—	—	—	—	—	—	5	—	—	—	50	57
1954	2	—	—	—	—	—	—	25	—	—	—	24	50	101
1955	2	—	—	—	82	32	—	25	25	—	—	24	50	208
1956	2	—	—	4	147	50	60	42	25	—	—	24	80	433
1957	2	—	20	4	147	50	25	64	25	—	—	25	80	441
1958	2	—	—	4	247	60	40	90	29	—	—	25	80	576
1959	2	—	20	21	247	81	210	90	32	—	—	18	100	821
1960	2	—	—	134	377	162	180	80	25	—	—	14	—	974
1961	2	—	—	177	377	165	146	68	25	—	9	14	220	1,203
1962	2	—	—	177	377	165	146	68	25	—	—	4	220	1,184
1963	2	—	—	206	377	160	170	68	115	—	—	3	200	1,301
1964	—	—	—	207	487	158	280	68	120	—	—	1	200	1,521
1965	—	—	—	207	517	158	195	65	69	—	—	2	200	1,412
1966	—	—	—	201	461	90	52	72	8	—	—	6	130	1,019
1967	—	—	—	207	461	148	54	72	—	—	—	6	65	1,012
1968	—	10	—	238	471	150	91	72	—	—	—	3	65	1,099
1969	—	20	10	352	500	151	477	72	—	—	—	3	50	1,635
1970	—	—	10	1,040	500	250	520	85	3	—	—	3	50	2,471
1971	—	30	—	731	500	300	570	85	7	1	—	3	10	2,237
1972	—	30	—	839	570	1,129	1,136	85	—	1	1	3	5	3,799
1973	—	30	15	1,240	1,000	910	1,136	—	—	—	—	—	—	4,331
1974	—	30	25	844	1,430	492	1,720	246	—	2	2	3	—	4,223

由於貝類均以天然浮游生物為主食，其養殖不需人工餌料，只需適當的管理，而經濟價值甚高，又本省氣候及西海岸的天然環境得天獨厚，淺海養殖的發展應無可限量，然而近二十年來，本省養殖面積雖不斷增加，但因工業廢水的污染，本省部份地區的貝類養殖已面臨絕境，如高雄市、臺南市原是牡蠣、文蛤主要生產地之一，歷年來養殖面積不斷減少，至1973年已幾無生產可言，一方面固然是工業的發展促使漁民轉業，最主要還是因為臺南高雄港受污染已達到魚貝類無法生存的程度(曾，1974)。

過去十數年間，本省淺海養殖呈現一片欣欣向榮的景象，給漁民帶來不少財富，改善了漁民生活。不幸自1969年(民國58年)以後，本省西南沿海養殖貝類，每年在4—5月間發生大量死亡情形，受

害極為慘重，每年損失數以千萬計，不僅國民經濟蒙受莫大損失，本省淺海養殖業也面臨嚴重的考驗。

漁民每見自己多年的心血頃遭莫名之災，無不痛心疾首，紛紛上電請求政府給予補助，無奈災情廣及西南沿海，政府雖曾撥款賑濟，然區區之數，仍無法解決困境。漁民屢遭災變之後，多棄之不顧或轉他業，而以養蚵為生者，每屆3—4月莫不憂心忡忡，請求有關單位研究防範辦法，為挽救貝類養殖危機，解決漁民疾苦，農復會首先於1972年起即委請中央研究院研究重金屬與農藥（鄭和黃，1973；鄭，1973, 1974, 1975）與貝類死亡之關係，後來在漁業局補助下，本所曾於1973年11月開始調查貝類大量死亡原因（胡，1974）。調查結果發現貝類斃死原因涉及甚廣，而若干河川受嚴重污染，是導致貝類死亡的可能原因之一，然因，現場證據不足，且各方意見仍多，貝類死亡主要因素始終未獲結論。為徹底解決此一引起各界議論的嚴重問題，本所特於1974年2月28日，召集全國有關研究單位及漁會與業者代表，舉行貝類死亡調查研討會。會後國家科學委員會，鑑於此一問題之嚴重性乃決支持，並撥款補助，由國立臺灣大學海洋研究所、中央研究院動物研究所及臺灣省水產試驗所組織聯合調查隊，分別探討並尋求造成貝類大量死亡的主要原因，本計畫自1974年9月開始至1975年10月結束，以下為本所調查之情形。

調查經過

本計畫自1974年10月在東石金湖沿海設立13個定點觀測站（如圖一）後，隨即展開調查，除今年1月間因天氣不佳，未能出海外，在10, 11, 12, 2, 及3月均與臺大海洋研究所工作隊配合調查一次，今年4—5月間在貝類大量死亡之前，本所調查隊即南下駐守口湖，利用自備小艇，每日或每隔一日出海調查並觀測現場貝類生長情形，特別是在4月8日，4月29日，5月17日下大雨前後，在現場作廣泛詳細的調查與試驗，對現場的狀況與變化情形，掌握了真確可靠的資料與證據。

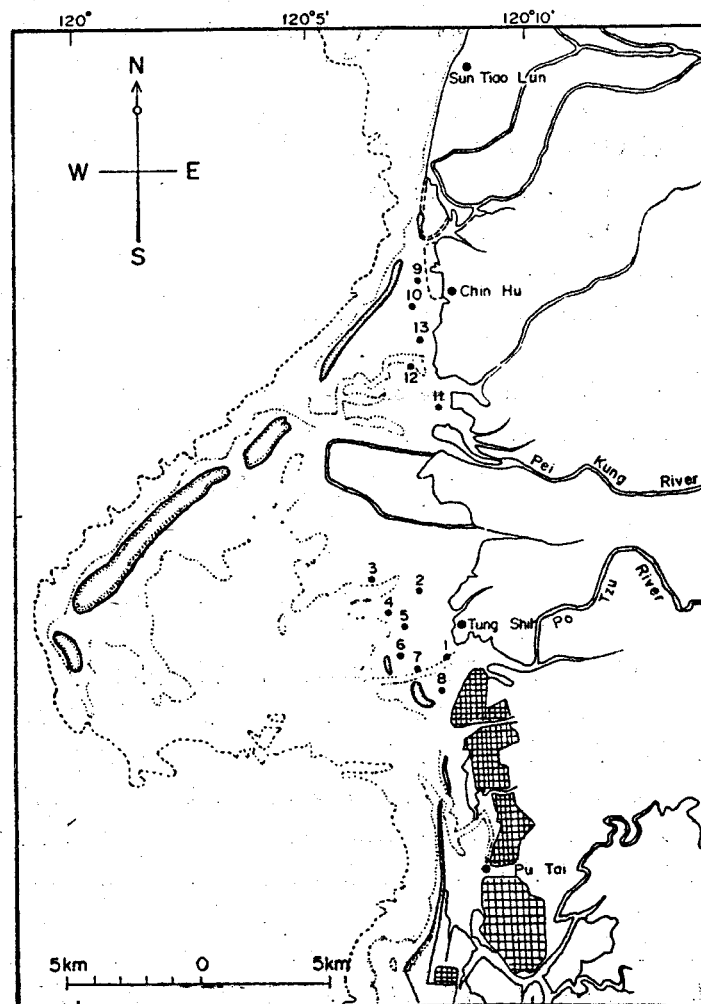


Fig. 1. Locality of sampling stations along west coast off Chin-hu and Tung-shih

材料與方法

1. 現場調查：

- (1) 氣溫及水溫：水溫以北原式採水器採上後測之。
- (2) 溶氧量 (Dissolved oxygen)：以Weston & Stack公司之Model 330 DO meter測定之，實驗室再補以Winkle滴定法校正之。
- (3) 酸鹼度 (pH)：以TOA pH meter HM—7A測之。
- (4) 浮游生物採集：以 $\times \times 17$ 植物性浮游生物網，在海表面拖曳90秒，船速約0.3—0.5m/sec。
- (5) 生物採集：每次調查取一至二串牡蠣及文蛤數十，做生長測定及生物檢定 (Bioassay) 之用。

2. 水質分析：

現場採集之海水及底質，帶回實驗室分析，分析項目包括：

- (1) 鹽度 (Salinity)：以Mohr法滴定法。
- (2) 混濁度 (Turbidity)：以HACH 110 A Turbidimeter測定之。
- (3) 化學需氧量 (COD)：以 $\text{FeSO}_4\text{-K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 滴定法，在100水溶中加熱3小時。
- (4) 總固體量 (TS)：蒸乾、烤乾後測定之。
- (5) 營養鹽 (Nutrient)：均用光電比色法測定。Nitrite，起色劑用 α -naphthylamine；phosphate，起色劑用Stannous chloride；Silicate係與鉬酸鹽反應後再用硫酸甲胺酚還原為藍色之鉬酸鹽化合物。

3. 漂流瓶 (Drift bottle) 試驗：

利用自製簡便之漂流瓶，內附編號之說明卡。於北港溪口、朴子溪口、及東石金湖沿海選擇若干地點釋放，並用調查小艇追蹤。

4. 貝類容忍度試驗：

牡蠣及文蛤對溫度、鹽度、pH與溶氧量之容忍範圍。

5. 污水之生物檢定 (Bioassay)：

以牡蠣或文蛤檢驗河川污水及現場海水，是否具有毒性，及河川污水致牡蠣、文蛤死亡之濃度。

6. 文蛤養殖密度試驗及移植試驗

在現場每單位面積放養不同密度之文蛤觀察相異密度與死亡及成長之關係，並在大量死亡期間，以病態文蛤作移植與不移殖試驗，比較其效果。

淺海養殖貝類大量死亡情形

本省養殖貝類早在1967年，林 (1969) 研究布袋養蚵生態時，已發現有大量死亡現象，1969年以後西南沿海養殖貝類大規模的死亡，始引起漁民的注意與各界的重視，近幾年來死亡情形有日益嚴重的趨勢。1971年4月 (曾, 1971) 雲林縣口湖、三條崙首先發現大量斃死，接着嘉義縣東石、布袋、高雄縣路竹、彰化縣鹿港等地相繼發生，1972年4月 (胡, 1974) 間死亡情形更為嚴重，1973年4月 (胡, 1974) 也發生類似情形，但以文蛤為主，1974年4月5日 (曾等, 1974) 口湖一帶文蛤首先發現死亡，繼之東石、臺西、布袋都有死亡事件，至4月中旬以後情況才略為好轉，4月下旬以後則再無死亡報導，牡蠣的成長極為良好，無異樣發生。但去年(1974)11月以後唯獨鹿港一帶有不尋常的大量死亡現象，至今年(1975)4月始停止 (楊, 1975; 曾, 1975)。根據歷年死亡資料，顯示本省養殖貝類大量死亡多發生在4,5月間，通常是在大雨之後，其死亡率年有不同，且因地而異，但以臺西、口湖、東石一帶較嚴重，漁民的反應最激烈。一般漁民對貝類大量死亡的看法不盡相同，多數認為下雨後

河川污水之影響為主要原因，也有人表示下雨後有促進文蛤成長之作用，與死亡無關。本所曾派員調查，發現河川受污染程度極嚴重，不適養殖之用，但因無足夠的養殖現場證據，河水是否直接導致貝類死亡，不敢輕下斷言（胡，1974）為證實並尋求貝類死亡主要原因，本所除定期調查外，在今年貝類死亡前即駐守口湖，調查現場分析水質，觀察養殖情形。

根據調查自1974年5月至1975年2月口湖東石一帶均無大量死亡發生，但在今年3月初口湖已發現病態文蛤浮出沙面，並有輕微死亡。至4月8日本省西南部適逢乾季後第一次大雨，4月9日即前往東石調查，發現自朴子溪口至東石外海一帶，水質污濁呈赤褐色，帶有很濃的糖味，水中溶氧量多在5 PPM以下，由外海向河口逐漸減少（DO資料詳見水質分析），是日風平浪靜水溫在25°—27°C之間，上午九時以後東石漁會附近水域即發現有浮頭死亡之蝦蟹類，顯然是朴子溪排出之污水所造成。從現場判斷，可能會有大量貝類發生暴斃，事後即發佈消息並告知當地漁民及早防範。4月10日轉往金湖調查北港溪口，其情況與東石相同，水中溶氧低，水呈茶褐色，帶有惡臭，泡沫多，河口一帶及金湖漁港內，不時發現漂浮之海鯨，河豚及白口魚等屍體污水塊由北港溪口向金湖方面延伸，顯示與北港溪排出之污水有關，當日貝類尚無異樣發生。4月11日東石海外傘頂洲及鰲鼓附近，首先發現開殼死亡之牡蠣帶有腐臭，而東石港內養殖場却無異狀，次日，金湖、東石、四湖、臺西各地陸續發生大量死亡，三條崙死亡情形是由南而北發生。根據現場調查結果，牡蠣之死亡率平均每串在40—70%之間，有高達90%以上者（圖1）

由於今年牡蠣着苗較晚（約在12—1月間），因此，今年死亡的牡蠣都以幼蚵為主，而未經分掛之採苗串，密度高者20條為一串，其蚵苗之死亡率高達95—98%或100%者，死亡率顯然與密度有關。但同一養殖場老蚵之死亡率則較低（經分掛，密度疏者）。一般言之，牡蠣之死亡率因地環境而有不同，以外傘頂洲一帶及金湖內海較為嚴重。文蛤的死亡通常是在退潮時浮出沙面然後開殼而死，其大量死亡的發生較牡蠣為遲，且延續時間較長。口湖地區長達二個星期以上，據估計今年文蛤死亡率在40—50%之間，而根據現場統計不超過40%，其死亡率較牡蠣為低。但牡蠣仍有着苗現象，尚可彌補災害的損失。4月29日及5月17日為4月8日後第二、三次之大雨，從雨後連續數日的調查發現，河口一帶水質不如4月9、10日污濁，且貝類均無死亡發生，文蛤的成長有加速的現象，從現場的調查結果發現：

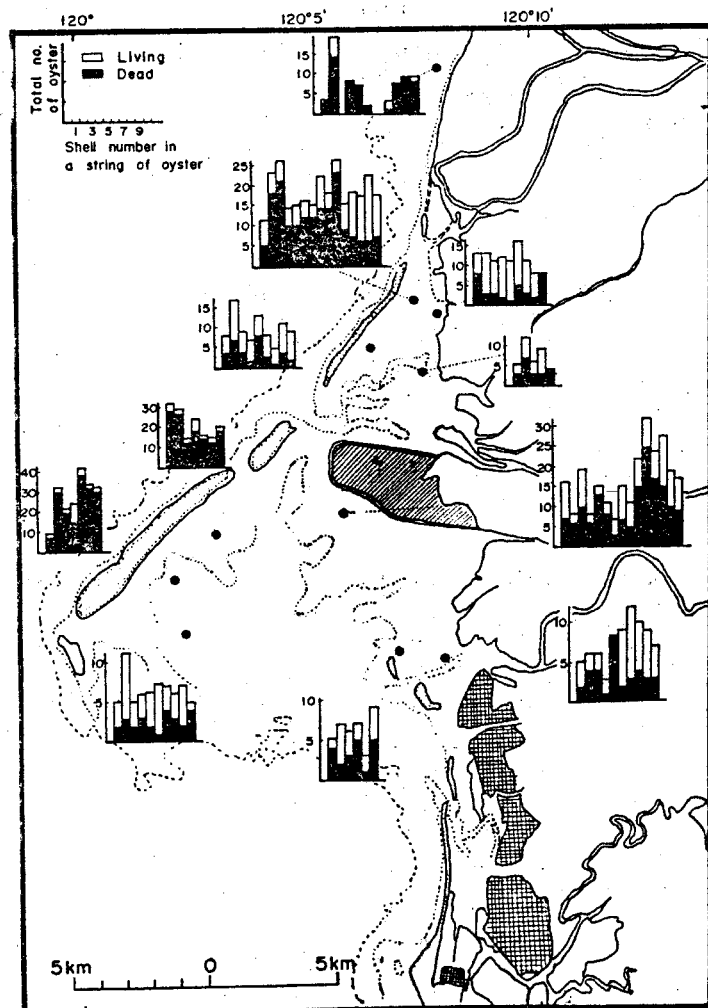


Fig. 2. Locality of sampling stations and average mortality of oyster in each station

(1)今年貝類大量死亡是發生在第一次大雨後(4月8日)三、四天即4月11、12日(牡蠣),延續二個星期以上(文蛤)。

(2)第一次大雨後河口附近養殖場有污水滯留溶氧量甚低魚蝦類首先發生死亡。

(3)貝類死亡率因地而異東石地區以外傘頂洲最嚴重高達90%以上,且死亡最早。

(4)牡蠣死亡情形中下層者較為嚴重。

(5)4月29日及5月17日兩次大雨後,貝類並無死亡發生,其成長反有加速現象。

由以上的發現我們確切地證實了,久旱後第一次大雨將積聚河床的污水沖至河口養殖場,是造成本省西南沿海養殖貝類大量死亡的主要原因,而東石、金湖一帶主要是受北港溪及朴子溪之影響,但是河川污水若直接導致貝類死亡,何以外傘頂洲(距離朴子溪口在10公里以上)死亡最嚴重,且較東石港內發生的早,又何以同一地區牡蠣、文蛤死亡率不同死亡期間不一,這些現象與河口地形,海流狀況,河川受污染程度及其影響範圍有關,有待海流調查,水質分析及生物檢定等試驗來證明。

漂流瓶放流試驗

根據過去之資料統計今年現場之調查發現貝類之大量死亡發生在久旱後突然一陣大雨(通常在4、5月間),使沈澱在河川之污物沖洗而出,造成貝類大量死亡,為證實此項推論,養殖場附近主要河川污水排入大海之動態及影響範圍必先予以瞭解。由於貝類養殖場水深不超過2公尺,而且河川之污水比重較輕,懸浮於海水表面,對養殖場的影響僅限於表面海流,故本試驗即用漂流瓶法調查表面海流之動態。

本漂流試驗所使用之材料是以公賣局出品之清酒瓶,高約28公分,內裝水、水泥和沙並使其凝固,置於海水中僅瓶頸露出水面,瓶內附有說明卡片,請發現者寫明發現地址、時間及當時海況情形後寄本所,漂流瓶口以塑膠蓋及膠套密封,由於漂流瓶置於海中僅瓶口露出海面,因此漂流瓶受風浪之影響小,受表面海流之影響大,是以漂流瓶來測定表面海流較漂流卡更為理想(Chen and Tseng, 1974)

。本試驗自4月14日起至4月30日止,共施放漂流瓶191隻,其地點如圖3所示,包括下崙漁港、金湖沿海、柘子村、北港溪、北港溪口、朴子溪口及東石漁港。為要了解退潮時河川污水影

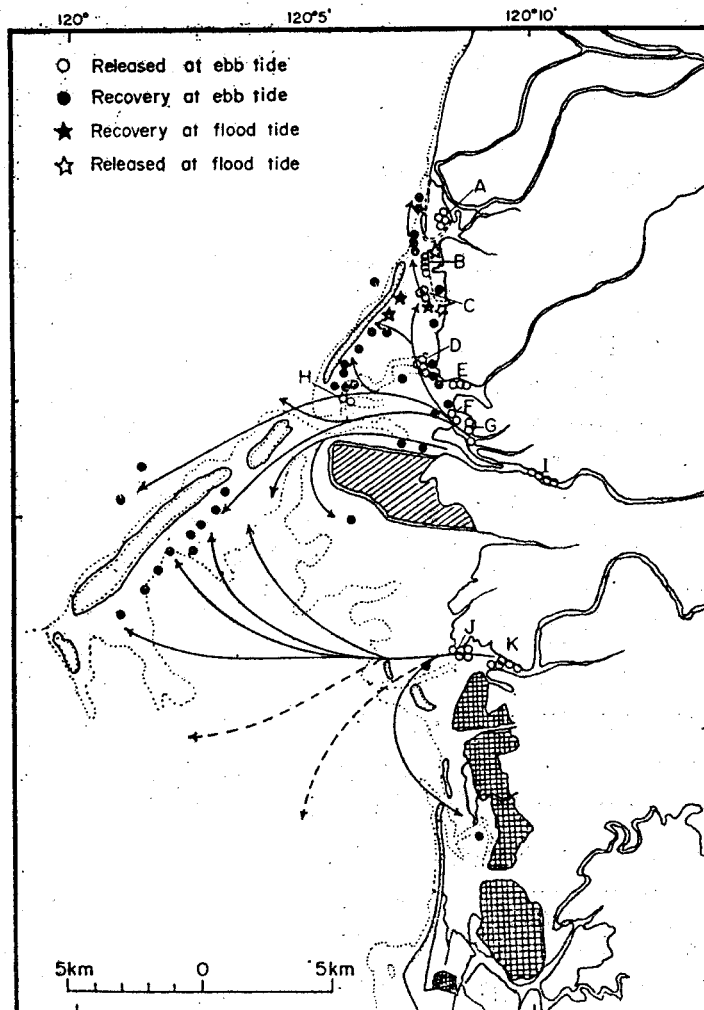


Fig. 3. Positions of release and recovery drift bottle and estimated direction of surface current

響範圍如何，故放流時多採退潮時間，各地點放流日期及數量均依情況之不同而施放，數目也不一致。

從圖3可發現金湖及東石外海由一很長的沙洲即統仙洲（金湖）與外傘頂洲（東石）所包圍，受台灣海峽影響較少，風浪較小，比起四湖和台西是一良好養殖場，在七、八月間受颱風危害較其他地區為輕。由於受地形特別是沙洲的影響，河川污水不易流出至台灣海峽，尤其在低（小）潮時有滯留的現象，自從鰲鼓新生地建築後，水流受阻滯留更甚，致使金湖東石一帶死亡更加嚴重或與此有關。

在本試驗所投放的191隻漂流瓶中，有58隻被收回，其中2隻由調查隊在海上自行發現，其收回率是30.37%。表3為各地點投放漂流瓶與收回數之百分比。由各放流地點之收回率，以垂下式養蚵場（C區）為最高（77.73%），其次為B（47.83%），D（47.62%）及北港溪口（G區）之46.67%。在金湖外海（H區）施放者無一被發現，在朴子溪口及東石漁港（J）放流之收回率為10%，而在北港溪與一家工廠污水交會處放流者，僅8%被收回。北港溪口放流者部份在外傘頂洲及鰲鼓新生地南方養蚵場被發現，金湖內海施放者多發現在附近養殖場及統仙洲，少部份流至台灣海峽。朴子溪口及東石漁港所放之漂流瓶曾發現在外傘頂洲及布袋內港養蚵場。漂流瓶收回時間與放流時間相隔日數在1—10天不等，有長達30天始被發現者，4月15日下午3時在第10站投放者，有一隻經24小時後在16日下午3時被調查隊發現於第10站及第12站附近，這時正值漲潮，發現地點較投放地點更接近河口，很顯然的是一種滯留的現象。

Table 3. The number of drift bottles released and recovered according to position which bottles released.

Position	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Number released	20	23	9	21	5	21	15	12	25	30	10
Number recovered	7	11	7	10	2	8	7	0	2	3	1
%recovered	35.00	47.83	77.78	47.62	40.00	38.09	46.67	0	8.00	10.00	10.00
% recovered of total	12.07	18.97	12.07	17.24	3.45	13.79	12.07	0	3.45	5.17	1.72
Accumulative % of total return	12.07	31.04	43.11	60.35	63.80	77.59	89.66	89.66	93.11	98.28	100

由以上漂流瓶的試驗，不難推測北港溪口之表面流在退潮時大致分成兩大主流，一股沿着鰲鼓新生地向西，至堤防末端後一支偏西南流向外傘頂洲，另一支沿堤防西岸偏東至東石外海。另一股表面流經牛屎溪下游，枱子村至金湖沿海，達下崙漁港。其影響範圍隨退潮時間逐漸減小，接近最低潮時流速最慢，流出的河水也就在深水處滯留，漲潮時流向大致由北向南流經北港溪口之方向，並淹沒了文蛤養殖場，此時在河口及枱子村金湖近岸數百公尺常可見明顯分界之潮境。根據4月10日之調查，僅一線之隔，海水之溶氧量相去甚遠。足見大雨後在漲、退潮時北港溪口一帶經常為污水所覆蓋，其牡蠣、文蛤等生物之死亡率必然較高，而文蛤養殖場只在最高潮時，受污水之害，浸水時間短，死亡時間常會延遲，死亡率也較低。此可以解釋為何牡蠣死的嚴重而文蛤死得較輕，不無與此等生物浸污水時間之長短有關。牡蠣大都為垂下式養殖浸水時間較長。然由資料中得知於同一地點同一串養殖牡蠣中，若予以分上中下層次位置之牡蠣時，常發現死亡的牡蠣都位於中下層，也就是說，上層因退潮關係，有一段時間呈暴露空氣時期，而死亡也就較少。但中下層者則幾乎無時無刻不浸於海水中。

此養殖區若為污水滯流區的話，很明顯的，浸水的深淺又為牡蠣死亡與污水關係之又一印證矣。

由現場地形之調查結果得知東石與金湖地區大部相同，其範圍較大，成爲一半封閉式的海灣水域，主要養殖場也就位於外傘頂洲東邊內側。由本次試驗證實朴子溪之溪水流出經東石漁港出海後有一主流向外傘頂洲，或偏向西南受漲潮影響至外傘頂洲附近，另一分支則在出海後向南流經布袋外海，漲潮時部份流到布袋內港養蚵場造成布袋輕微的死亡（如圖4）。

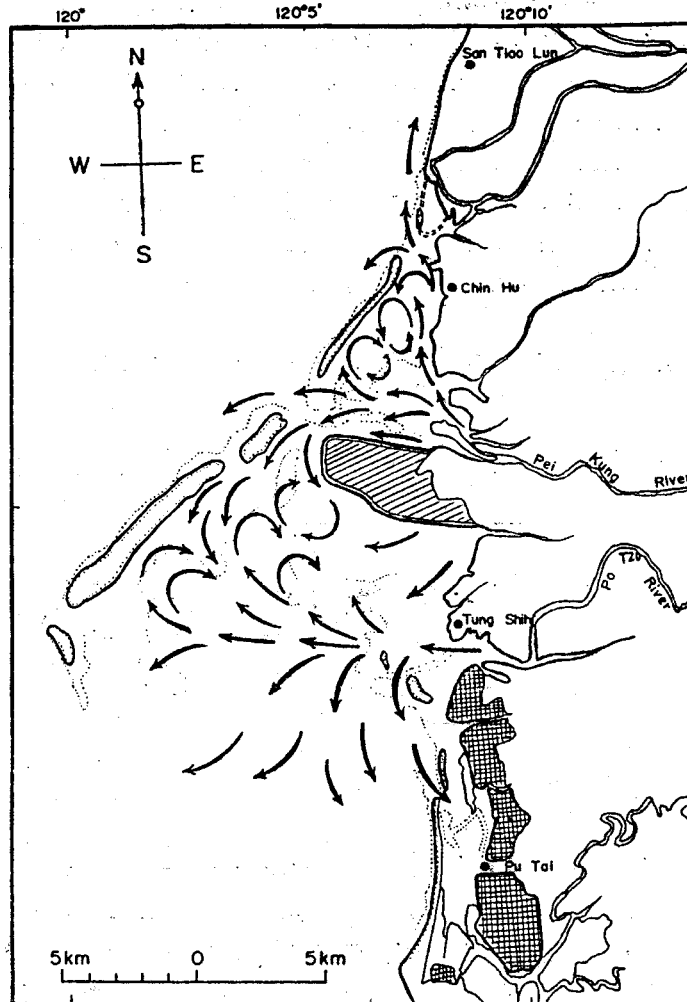


Fig. 4. Summarized map of the current during ebb tide in western coast off Chin-hu and Tung-shih

本省最大貝類養殖場一金湖、東石和外傘頂洲也就基於其地理環境之關係，深受北港與朴子兩大溪流之影響。由本次本所金湖工作隊連續的二個月之海上調查中證實了，也解開了下列幾個謎：

- (1) 兩溪流排放之污水與本沿海區魚貝類死亡有直接之關係，特別在4月之第一次大雨期間。
- (2) 由於受到統仙洲及外傘頂洲之阻碍，北港溪及朴子溪之污水，在河口一帶具有滯留現象，滯留時期長達4—5天，以金湖爲甚。
- (3) 外傘頂洲之大量死亡主要係受北港、朴子兩溪排出污水匯流至此之影響，其中北港溪之成份較朴子溪爲高。
- (4) 布袋養殖牡蠣受朴子溪部份污水之影響，其死亡率今年較任何其他地區爲低。

(5)三條崙牡蠣輕微死亡時由南而北發生，可能是受舊虎尾溪及北港溪污水之尾水影響所及。

(6)文蛤、牡蠣死亡率之差異主要是受污水影響時間的長短不同所致。文蛤暴露時間遠較牡蠣為長。

(7)鰲鼓新生地之堤防與貝類死亡關係少。

討論：一般人以為台灣海峽由北而南之寒流由3月後已改為由南而北之黑潮（暖流）支流了，其實因本省以往所做海洋調查都集中在做大洋性大海中之洋流調查，忽略了淺海養殖場最重要的沿岸流。有人因沒去過現場而誤以為鰲鼓新生地之築成，切斷了朴子溪之污水朝北流往台灣海峽之途徑，並淤積於外傘頂洲，以造成今日之大量死亡，殊不知，造成外傘頂洲貝類死亡之污水主要來源除朴子溪外還加上北港溪，而鰲鼓新生地之海堤防亦沒堵住朴子溪之北流。

實際上朴子溪之影響是東石，外傘頂東南與布袋一帶，布袋今年貝類死亡輕微與東石外海一帶相同也可說是今年朴子溪之污水較北港溪為輕之一例證。因為在民國61年東石和布袋一帶發生貝類死亡，尤以布袋港內外之死亡為甚，當時以及目前一般當地漁民均咸認為是八掌溪之污水所致，然經調查八掌溪結果，其污染極為輕微。

水 質 分 析

去年（1974）2月28日本所曾邀請全國有關之學術研究單位與從事實際工作之養殖業者，共同研討有關歷年來本省西南沿海養殖貝類大量斃死之可能原因，經歸納共有六種：(1)環境如溫度與鹽度（海水比重）之突然變化，(2)水質之混濁度高或是缺氧，(3)疾病，(4)密度過大，(5)工廠排水和(6)赤潮等因素所致（曾，1974）。因本所人力、財力與設備等甚是缺乏，實無力從事如此龐大之調查工作，乃經農復會之策劃及國科會財力支援下成立一全國性之調查隊（Co-ordinated team project），由中研院動物所、臺大海研所與本所等共同進行調查工作，其中本所負責貝類養殖場之環境生態因素調查。環境生態因素直接與貝類生存有關係者包括有海流與地形，貝類之食物——植物性浮游生物以及養殖場海水之水質分析。蓋水質之於水生生物，正如空氣之於陸上的動植物一般，是非常重要的。水質的好壞影響着水生生物之生存與成長。因此，很顯然的污染的水質——污水，影響小者使生物之生長與生殖受阻，嚴重者導致生物之大量死亡。假若養殖場貝類之死亡是由於污水的關係所引起的？那麼由何處來？其質如何？以及如何斃死這些貝類是本調查工作之重點。

當然，工廠排水也就是污水之一種，早在三年前（新生報和民衆日報等，1972年11月18日）養殖業者，即不斷地呼籲，貝類的大量斃死是由於工廠廢水（毒水）所致，然查無證據，蓋每次調查發生死亡區之海水時，皆相當正常（曾，1971；胡，1972；曾等，1974；鄭，1975）。後來有很多漁民指稱（水試所貝類檢討會，1974年2月28日）貝類之大量死亡與本省西南部地區第一次大雨有關。理由是本省每年11月至翌年4月左右為乾季雨量少，大都之河床幾呈半乾涸狀態，工廠所排出之廢水也就流到河床或未流至河邊即形沉積而乾涸，至每年4、5月時分之第一次大雨時即把上游沉澱之工廠排出於河床之沉積物沖洗而流至沿海貝類養殖場，導致貝類之大量斃死。本所接受國科會與農復會之補助後，即每月與臺大海研所出海採樣與調查外，並配合中央氣象局與臺大農經系，預測本省天氣展望之資料等，且特派五名工作人員自備有工作小艇進駐金湖村，進行下大雨前、大雨中及大雨後之全面調查本省也養殖貝類面積最大的口湖與東石沿海，以及外傘頂洲等海域為期約2個月。一年之調查資料中，以這兩個月之資料關係貝類死亡最為重要。水質分析包括：(1)水溫，(2)鹽度，(3)濁度，(4)化學需氧量(COD)，(5)總固體量(TS)，(6)酸鹼度(pH)，(7)營養塩類以及(8)溶解氧等八項。其中除(1)和(2)兩項外，(3)至(8)項皆為探討此養殖場是否與污染有關，其中發現(8)溶解氧與貝類之死亡有很大關係。就調查結果分項討論如下：

1. 水溫：海水水溫受氣溫影響很大，氣溫之增減，水溫也隨之增減，而淺海水域之水溫且較一般

水溫為高，這是淺海域之一特色。根據本所調查養殖場之水溫在每年4月前一般均在 25°C 以下，最低水溫在1月或2月為 12°C ，4月以後才有逐漸回升之現象。此溫度之回升應有促進貝類生長及成熟之作用。在今年(1975)4、5月調查期間曾有三次大雨，然而溫度之變化並不顯著，死亡期間(4—5間)貝類養殖場之水溫一般都在 $26—31^{\circ}\text{C}$ 之間(圖5)，此與往年情形相同。綜合上述水溫似不能構成貝類大量死亡之主因，然而溫度上升促進貝類之生長活動，其抵抗其他環境劇變之能力自不若溫度低時的休眠狀態為強，同時水溫上升促進微生物活動導致環境惡變亦可能間接造成局部死亡之原因，此有待於臺大海洋研究所海洋微生物調查之結果而知。

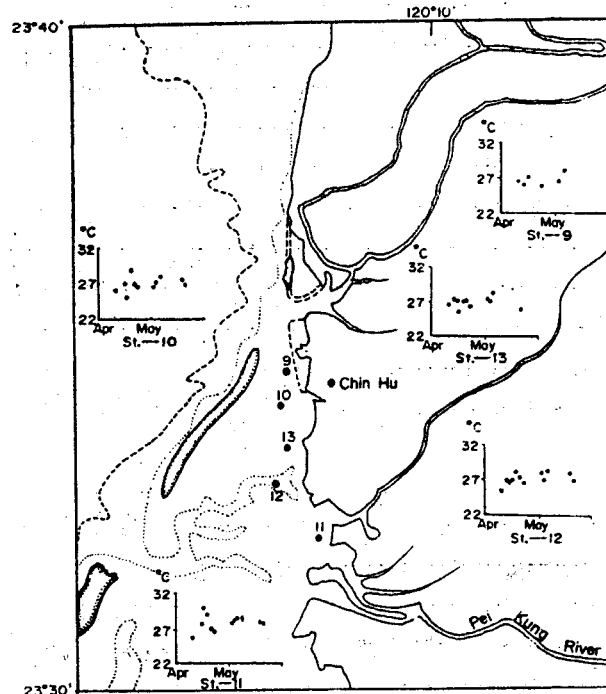


Fig. 5. Daily variation in water temperature at each sampling station of Chin-hu culture area

2. 塩度：海水塩度受溫度、濁度、河川排水、降雨水及潮汐等因素而變動，一般海水塩度均在30

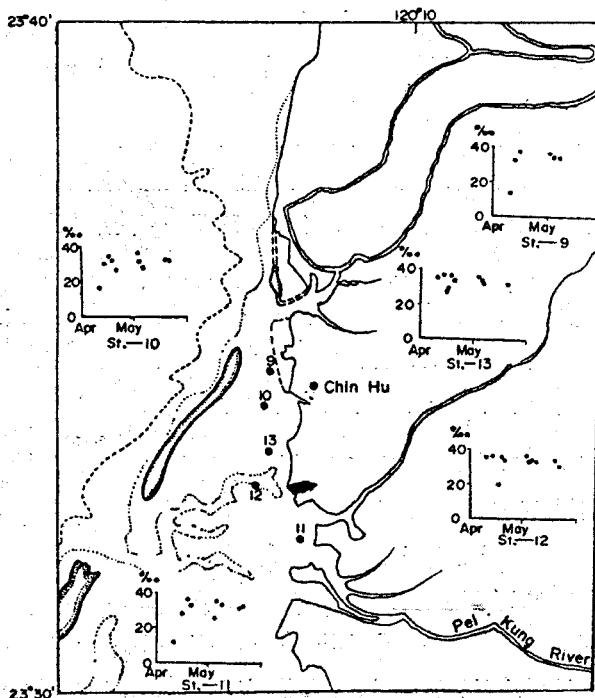


Fig. 6. Daily variation in salinity at each sampling station of Chin-lai culture area

—35‰之間。就所調查貝類養殖場全年塩度變化情形來看，近河口處塩度較低約在14—22‰間，而一般離河口遠處塩度漸高，約在30—36‰之間，雨季來臨時河口附近塩度變化甚大，河川水位突增，降低河口附近海水塩度。就以金湖各採集站為例，4月8日大雨後，9日和10日各站海水塩度下降至15‰左右，經一、二日後才告恢復到30‰左右(圖6)，故此塩度劇變對於貝類之斃死不無牽連。

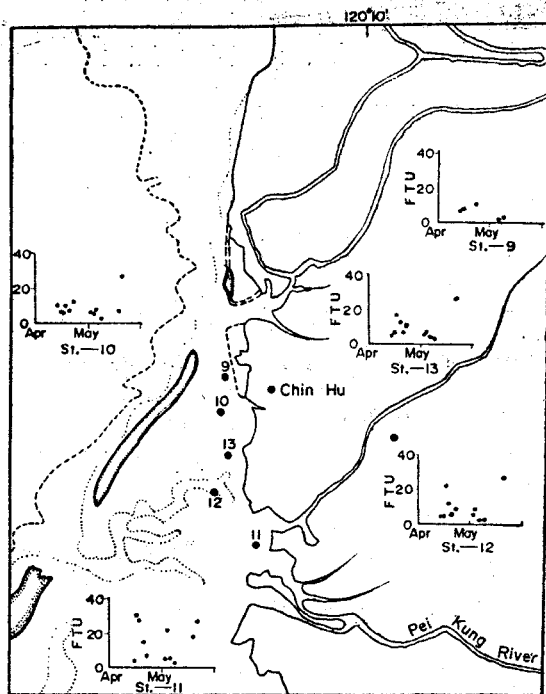


Fig. 7. Daily variation in turbidity at each sampling station of Chin-hu culture area

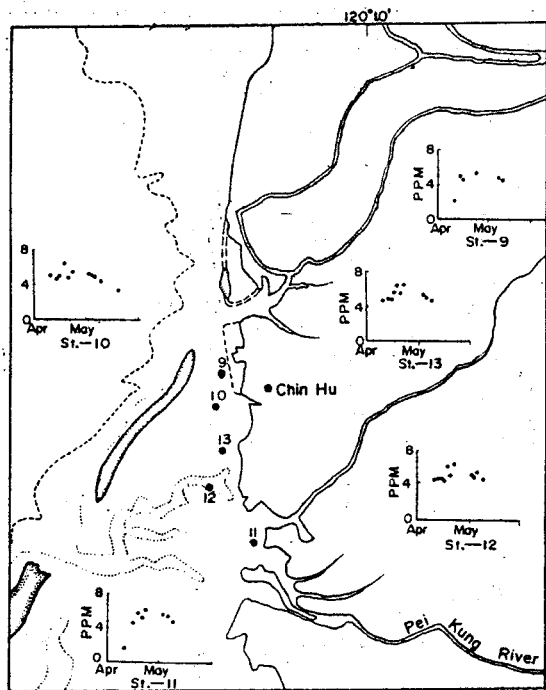


Fig. 8. Daily variation in chemical oxygen demand at each sampling station of Chin-hu culture area

3. 濁度：濁度亦為養殖場水質之重要因素，就全年調查結果濁度之大小常隨降雨、潮水而變化，其變化範圍則約在 0.5—90 FTU 之間，4—5 月間金湖養殖場濁度之變化如圖 7，濁度過大往往減低透明度致影響植物性浮游生物之光合作用，也威脅貝類之生長，依據美國加州河流委員會 1957 年公布之貝類養殖用水標準，濁度之適宜濃度應在 5 FTU 以下，顯然地本養殖地區幾乎全年都高於 5 FTU 之標準是屬污染之區域，然經調查濁度之污染與本年 4 月間養殖貝類之大量斃死尚無直接關係。

4. 化學需氧量 (COD)：化學需氧量為測知海水中有機物質之相當量，根據本所全年調查之資料結果發現在死亡期間養殖場之 COD 般皆在 400 PPM 以上，有些則高達 600 PPM 以上 (圖 8)，此種劇增之現象常隨大雨後數日而增高，與貝類之死亡期甚為符合。是否有直接關係，尚不得而知，但很明顯的死亡與有機污染水之增加且有著直接之關係，貝類養殖場一般位居河口，所以該處營養鹽豐富，浮游生物滋生繁多，可供貝類生長之所需，然而近年工廠廢水及家庭排水均往河川排放而集中匯流入海，其中多含有機質很高之物質，而使得河口附近海水中之溶解氧 (DO) 下降，尤其在本省河川入冬後乾季期間河川流量甚少許，多污染物皆沉澱河床，及至雨季來臨河川水位突增往往夾帶大量污染物流下，使得河口附近養殖場之 COD 增高而 DO 頓時下降，造貝類斃死現象。

5. 總固體量 (TS) : 總固體量為測定海水中有機體量之懸浮物、污泥及有機質等做為水質污染之一種指標。本養殖區海水中之總固體量約在20—50 PPM之間(圖9)表示為受了污染之海水, 特別在貝類死亡之4月期間顯示有微量之增高, 此種增高量無疑的是由於大雨後沖洗河川之沉澱物所致。

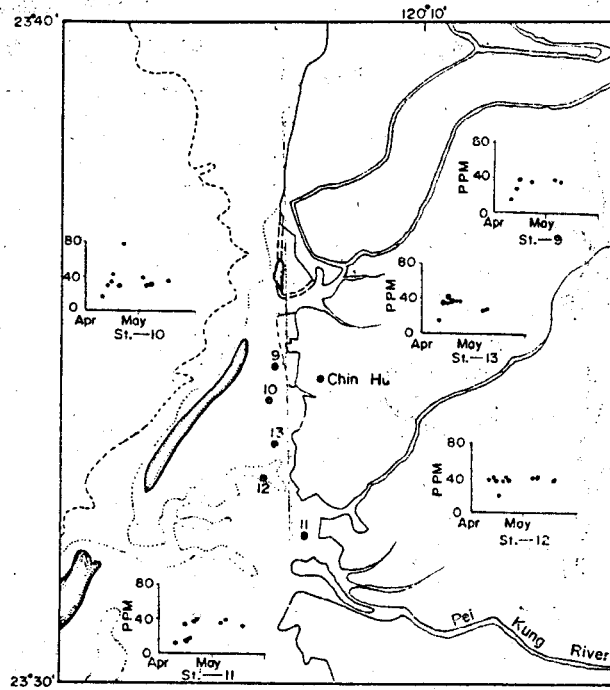


Fig. 9. Daily variation in total solid at each sampling station of Chin-hu culture area

6. 酸鹼度(pH) : 根據全年調查之結果貝類養殖場之pH值大多在7—8之間(圖10), 越近河口處pH越低, 變化也稍大, 就貝類生存而言自然不可忽視, 然與貝類大量斃死究有如何關係有待進一步之調查。

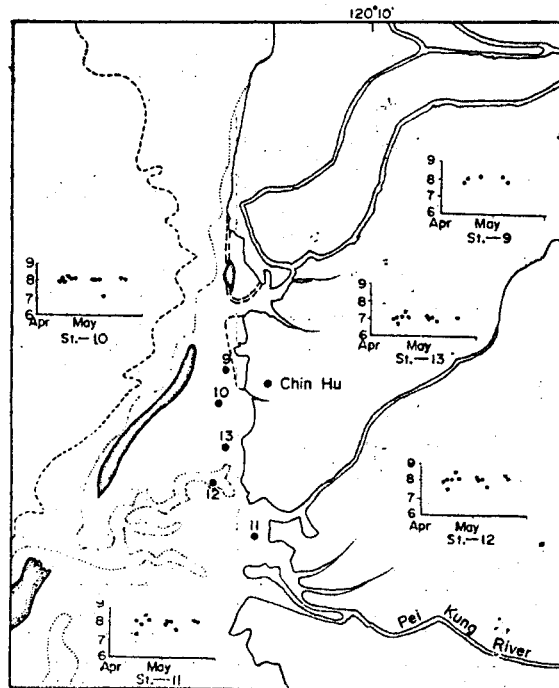


Fig. 10. Daily variation in pH at each sampling station of Chin-hu culture area

7. 營養鹽：養殖場之硝酸鹽含量不高 (1.4ppm)，磷酸塩含量亦甚低 (0.0004ppm)。今年4、5月間變化不很規則，大雨後都有突增之現象 (圖11—12)，此種短時間營養鹽增大之現象與浮游生物增殖之現象頗為符合。然究竟與貝類死亡有無直接影響則有待進一步求證。無可否認的，營養鹽與赤潮的發生是有直接的關係，但至目前為止，本所只證明了本省確實有赤潮發生之現象，至於是否危害到貝類的大量死亡，尚無實據。

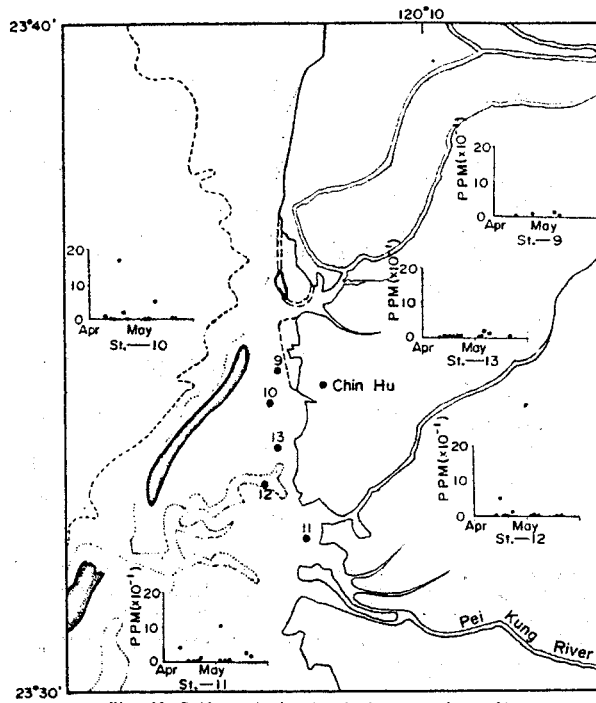


Fig. 11. Daily variation in nitrite at each sampling station of Chin-hu culture area

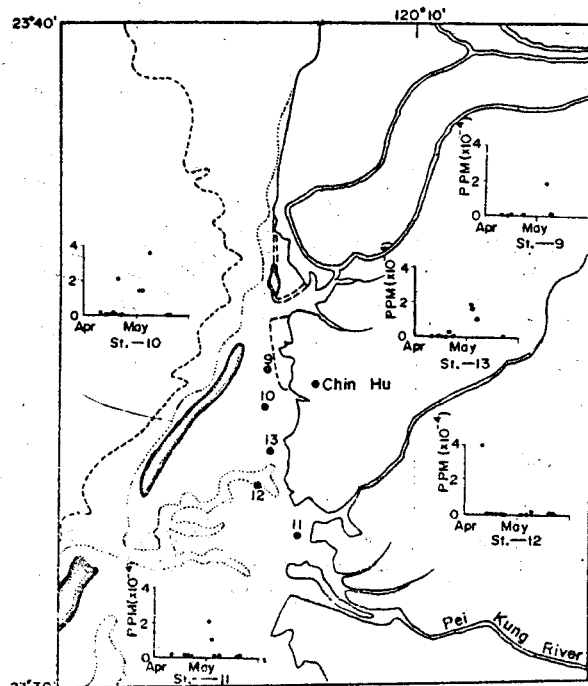


Fig. 12. Daily variation in phosphate at each sampling station of Chin-hu culture area

8.溶解氧 (DO)：貝類養殖場溶氧量隨着季節有很大的變化：一般夏季6—9月間DO均在4—5 ppm，冬季即10月至死亡期前則較高約在6—8 ppm間，至死亡期間DO顯有下降之現象，約在2-5ppm (圖13、14)，而最重要的為今年4月8日嘉雲地域大雨後，養殖場DO之變化與水中魚貝類生存最為關係，茲介紹於下：

今年4月8日嘉雲地區下豪雨，工作隊首先於4月9日上午9時出海調查並測定水質，首先發現東石外海一帶海上風平浪靜，炎陽高照，水色混濁而呈赤褐色，帶有糖漿氣味（越接近朴子溪口越濃），並偶而有臭味，氣溫由上午之26°C漸升高至中午之30°C左右，水溫亦在26—29°C間。這污水塊瀰漫了整個東石外海養殖場，由外海約10公里之第6觀測站延伸至接近鰲鼓海埔新生地堤防之第4觀測站，正因適逢小潮期間，整個污水塊就像個靜止似的污水池一般。海水中之溶解氧由第6觀測站附近之5ppm漸向東石漁港急速遞減，至朴子溪河口附近時約為1.9ppm (圖14)。除DO很低外，COD與TS都很高，顯然地這種低於5ppm之污水塊當然不適於水生生物之生存。經調查海上工作後返回東石漁會時（約當日下午2時左右）即發現有多位漁民用手網或箕子在岸邊捕捉浮頭之魚蝦和蟹類等，而漁民之人數則越來越多，至下午四點時分，已增有一、二十漁民矣。

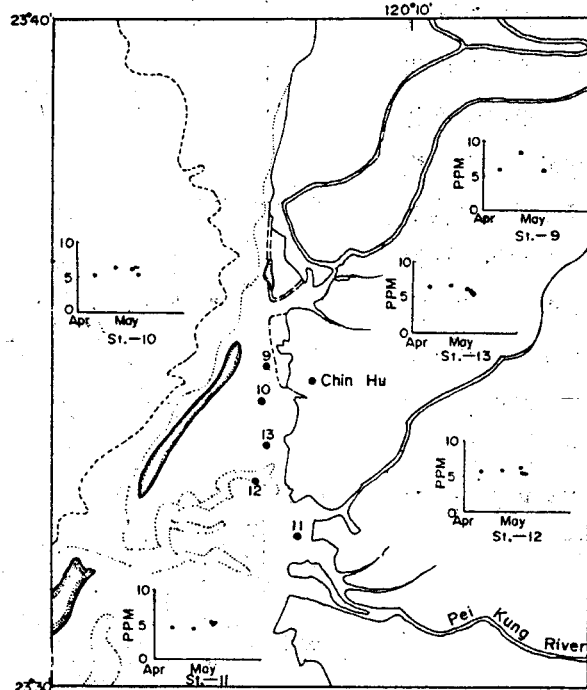


Fig. 13. Daily variation in dissolved oxygen at each sampling station of Chin-hu culture area

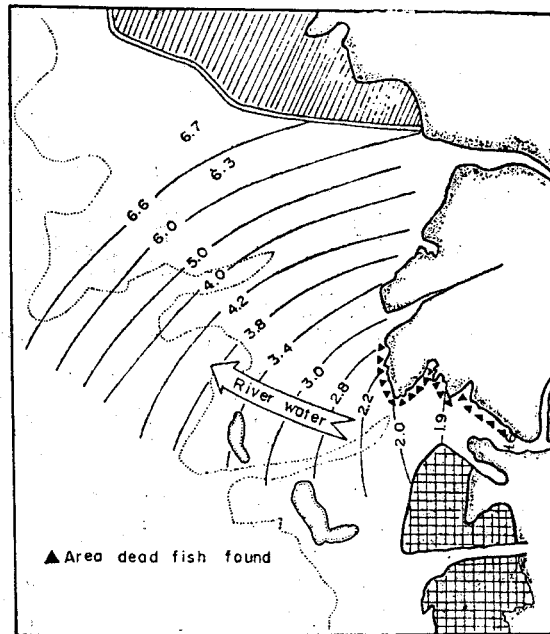


Fig. 14. Distribution of dissolved oxygen (ml/l) in estuary of Po-tsu River on April 9, 1975

下雨後第二天(4月9日)我們根據資料之種種研判可能二、三日後貝類會開始死亡之故,即於當天下午7點左右由東石漁會之黃居住股長向東石鎮之全體鎮民廣播提醒漁民事先加以準備與防患貝類死亡之發生,並請黃股長繼續監視朴子溪口與東石沿海附近之魚貝蝦等之變化。第三天(4月10日)工作隊改作調查北港溪口即金湖外海附近。根據當地漁會人員與業者稱金湖外海於4月9日也是一片赤褐色污水,也是由於4月8日之大雨所沖洗之北港溪河川污水所致。不過當4月10日早上9點時分工作人員乘小舟出海之際,現場的海水水色已不像東石外海之污濁,僅略帶赤灰色而已,然而另一現象是,早上出航後即在北港溪口、枱仔村和金湖村外海發現漂浮,包括有幾十尾成仔魚(斑海鯨, *Tachysurus maculatus* Thunberg)和小河魴(星點河魴, *Fugu nidhobles*, Jopdan & Snyder)等死魚,體長約在10—14公分長,當天金湖外海之DO分布情形較東石為好由4 ppm至

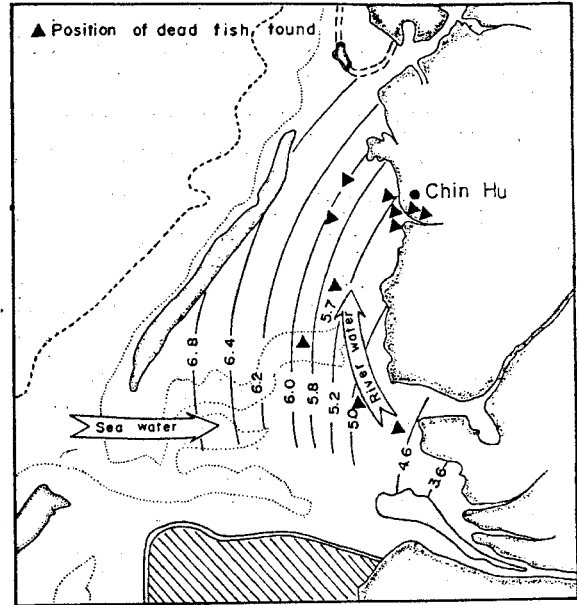


Fig. 15. Distribution of dissolved oxygen (ml/l) in estuary Pei-kung River on April 10, 1975

5.5ppm左右(圖15)。當天下午5點左右,接到東石黃股長之電話稱東石方面除海面上有漂浮之魚屍體外,已有漁民到東石漁會報告說已發現有牡蠣不正常之開殼現象。當晚8點左右筆者即速分訪由海上歸家之漁民,他們也發現到部份牡蠣已有閉殼緩慢之現象。並且與往年一樣手脚浸到水的部份即發生癢癢,生小水泡之現象,筆者亦才恍然大悟這兩天來手脚奇癢,並且好像生瘡似的,自以為進駐金湖後水土不服或飲食不潔生皮膚病似的,現在才知是因為海上調查時,手脚因浸水所致,其他的幾位工作人員亦或多或少長此病象,由此可知此污水含有相當量之有機物質(COD高)不但消耗海水中之氧氣,而使生物不易生存(牡蠣開殼緩慢)或死亡(成仔魚和河魴之屍體)而且還使沾到水的人類皮膚也會奇癢與生瘡,可見其影響生物之後果甚不簡單矣。

第三天(4月11日)一大早工作隊即再前往海上調查,水中DO已恢復至5—6 ppm左右但發現除第二日(4月10日)發現的成仔魚和河魴之屍體(體形較大,約12—17公分長)漂浮海上外,並且還發現有抵抗力較強之豆仔魚(鰻鯔, *Mugil affinis* Gunther)屍體多條並且陸陸續續地有當地與外地的漁民報稱牡蠣與文蛤開始斃死矣。工作隊在金湖之臨時實驗室內於4月9日由東石與4月10日由枱仔村等外海攜回之污水,所做之貝類生物實驗亦發現有死亡。第四天(4月12日)即分頭派調查員進行斃死情形之調查已如前所述。並且部份人員又出海,當然水中之DO與第三天差不多在5—6 ppm左右,然而,當天海上漂浮的豆仔魚屍體比第三天的大約為20公分左右長,並發現有油口(*Johnius carutta* Bloch)和吳郭魚(*Tilapia mossambica* Peters)屍體,牡蠣與文蛤亦陸續地發生死亡。

由下大雨後之翌日海上滯留之污水塊除呈赤褐色外,其氣味含有糖漿之味道可能是紙廠廢水沉澱於河床之沉積物,但也有人稱是屬於糖廠洗鍋之排廢沉澱物,到底是屬何種工廠所排放者,有待進一步之河川污水調查,而部份水域有臭味,亦可能是河床上游之廢積沉澱之腐敗物被沖洗出所致。

本所曾在嘉義與雲林兩縣府水產股的支援下,得知朴子溪及北港溪沿溪兩旁確實有好幾百家大大

小小之各式各樣工廠，但經調查可能與貝類養殖場有關係者不外是化學藥品工廠、染織廠、製革廠、電渡廠、紙廠、糖廠以及食品工廠。因為這些工廠所排放未經處理之廢物確有直接或間接危害水中生物之可能（日本水產用水標準，1974）。當然，河床之沉積物除了工廠排水物以外，沿溪流人畜所排之有機廢物，農田所排放之含農藥之尾水以及兩岸之魚池所排含有魚毒之廢水，都可能於乾季時期沉澱於河床，一旦大雨沖洗而流出至養殖場時，因本身這些大都屬有機質，除可能大量消耗海水中氧氣，造成缺氧而導致生物浮頭以致死亡外，尚且可能成爲一種混合的有機物質，造成另一種極爲毒的混合水也不一定。本所因限於設備無法進一步分析。不過，多年來貝類斃死之推測種種，這次本所工作隊且確實地證明了，下大雨後之河川污水沖洗而滯留於養殖場之種種現象，是影響魚貝類死亡之直接原因。此污水是屬於工廠（何種工廠？）、家庭、農田或魚池之排水累積之沉積物或混合物，尙未知。

貝類生物忍耐度試驗

在過去幾年中，一般對貝類大量死亡的原因，議論紛紛，有人認爲環境的突然變化是導致貝類死亡的可能因素，因在4—5月間本省西南部氣候較不穩定，溫度上升，風向轉變，或因下大雨使海水鹽度降低等種種猜測。牡蠣因移殖而造成死亡的現象曾發現在 Chincoteague Bay，但在1950年 Loosanoff (1952) 將牡蠣自低鹽度（3—10‰）移至高鹽度（27‰）中，發現鹽度的變化並未造成生理上的影響。事實上也是如此，例如今年4月8日、29日大雨之後，本省中南部且於6月5日起連續1—2禮拜大雨，陸上造成很嚴重的交通與農作物之損失，然而由鹿港至東石之貝類養殖場均不受影響。Galtsoff (1964) 在9月間的牡蠣移殖，3至4星期後完全死亡，但同樣的試驗在10、11月却無死亡發生。他認爲在高溫下，海水鹽度的改變是造成死亡的原因。至於本省貝類的死亡究竟是溫度或鹽度的變化所造成，有待實驗，並配合現場的海況變化來加以說明。

本試驗在瞭解本省養殖貝類對溫度、鹽度（比重），酸鹼度及溶氧量之容忍範圍與其需要量。試驗時以1000cc之燒杯，水質以粗鹽配製而成之海水，溫度用調溫計自動控制，酸鹼度以HCl, NaOH調整，溶氧量以打氣機充之或不打氣。每杯放置文蛤或牡蠣5—20個，依其大小而定，每24、48、96小時或更長觀察其生存率，每項試驗均重複行之。

1. 文蛤與溫度之關係

溫度是影響貝類生長、成熟、生殖、呼吸、代謝等之主要因素，溫度超過了貝類容忍之限度，則直接導致貝類的死亡。表4是文蛤對各種不同溫度適應的情形，在一般海水中（比重1.025—1.027）溫度達25°C時，24小時之死亡率爲60%，溫度在40°C時，有30%死亡，高達45°C時則全部死亡，10°C至30°C之間其生存率爲100%，由容忍度試驗得知本省文蛤對溫度之適應範圍爲5—33°C，隨大小而有不同，文蛤愈小其對溫度之容忍上限也愈低，在溫度適應範圍內溫度的突然變化並不會造成對貝類的傷害。長期的低溫使代謝作用速率減慢，甚至停止生長。

Table 4. Percent survival of hard clam at various temperature for 24 hrs in relation to different size. (Group 1 is larger than group 2.)

Test	Temp. °C	15	20	25	30	35	40	45	TLm
Group 1	No. of clam	10	10	10	10	10	10	10	33
	Survival %	10	9	10	10	4	2	0	
	Survival %	100	90	100	100	40	20	0	
Group 2	No. of clam	10	10	10	10	10	10	10	32
	Survival	10	10	10	9	2	2	1	
	Survival %	100	100	100	90	20	20	10	

2. 文蛤與鹽度的關係

由於海水比重與鹽度有關，且測定簡便，本試驗均以海水比重說明其與文蛤之關係。表 5 是溫度在 25—30°C 時文蛤對不同海水比重之適應，表中顯示文蛤對比重之適應範圍是 1.005—1.036，比重超過 1.035 時，文蛤死亡率顯著增加。從文蛤開殼（出、入水管突出）情形，比重低於 1.010 時，開殼率減少，在純淡水中則幾乎完全不開口，最佳之比重是 1.015—1.025。文蛤在 25—30°C 之間，半數致死之比重為 1.035—1.037，因大小而異。表 6 是溫度在 15—20°C 時，文蛤對相異比重之生存率。比重自 1.005 至 1.030，文蛤在 7 天內之生存率是 100%，比重 1.035 時則有 60% 死亡。海水比重 1.010 時，文蛤死亡情形，第 10 天為 20%，第 13 天為 40%，第 15 天為 60%，其半數致死天數是 14 天。比重為 1.005 時，第 10 天死亡 60%，第 13 天死亡 80%，半數致死時間為 9 天。比重在 1.015—1.030 間，100% 生存率在 15 天以上。

Table 5. Percent survival of hard clam at various specific gravity (S.G.) of sea water at temperature range from 25 to 30.

S. G.		1.005	1.010	1.015	1.020	1.025	1.030	1.035	1.040	TLm
Test	No. of clam	5	5	5	5	5	5	5	5	1.037
	Survival	5	5	5	5	5	5	3	2	
	Survival %	100	100	100	100	100	100	60	40	
2	No. of clam	5	5	5	5	5	5	10	10	1.035
	Survival	4	4	5	5	5	5	5	4	
	Survival %	80	80	100	100	100	100	50	40	

Table 6. Percent survival of hard clam at various specific gravity in (S.G.) temperature range from 15 to 20°C for 7, 10, 13 and 15 days.

S. G.		1.005	1.010	1.015	1.020	1.025	1.030	1.035
No. of clam		5	5	5	5	5	5	5
Days	Survival	5	5	5	5	5	5	2
	Survival %	100	100	100	100	100	100	40
10	Survival	2	4	5	5	5	5	0
	Survival %	40	80	100	100	100	100	0
13	Survival	1	3	5	5	5	5	5
	Survival %	20	60	100	100	100	100	
15	Survival		2	5	5	5	5	
	Survival %		40	100	100	100	100	

從上述試驗結果顯示文蛤對不同比重之容忍度隨溫度而改變，溫度低於25 °C時，對高比重或低比重之忍耐度較強。溫度增加時，在適當比重範圍外，文蛤之死亡率隨之增高。

3. 文蛤與溶氧量之關係

在文蛤的容忍度試驗中，發現未經打氣的文蛤死亡率較打氣者略高。但在適宜的溫鹽範圍內，兩者間並無明顯的差異，換言之，在沒有充氧的情況下文蛤仍能生長良好，甚至在完全缺少氧的環境中亦能生存一段時間，可見文蛤對氧之需要量甚低，但對低氧之容忍力顯然與溫度的高低有關，溫度愈高，文蛤對溶氧的需要量隨之增加。

4. 文蛤與酸鹼度之關係

貝類對海水酸鹼度之容忍範圍，隨成長過程而有不同，例如文蛤仔貝正常生長的 pH 範圍是 6.75—8.50，牡蠣苗則在 6.75—8.75 之間，pH 低於 6.75 時，其生長率均急速降低。最佳之生長範圍文蛤苗是 7.50—6.00，牡蠣苗是 8.25—8.50 (Calabrese and Davis, 1966)。大型文蛤對 pH 之容忍度顯然較小文蛤為大，pH 在 9.00—10.01 之間二天內試驗文蛤均無死亡發生，第三天低 pH (9.00) 首先死亡，第四天為 10.01，第六天 pH 為 9.80 和 9.95 均死亡。繼之，pH 在 5.0 以下也發生死亡，但 pH 在 6.9—8.5 之間其生存率在第七天時仍為 100%，可見文蛤對過高之 pH 容忍度較高，pH 低於 6.07 時死亡率逐漸增加，最佳之適應範圍大約在 7.5—8.5 之間。

5. 河川污水之生物檢定 (Bioassay)

一般檢驗污水的方法有水質分析及生物檢定，後者是檢驗廢水是否有毒，及其毒性程度最簡便的方法。為檢驗北港溪及朴子溪污水是否直接導致貝類的死亡，本法是以當地所產之文蛤和牡蠣，在上述污水不同濃度之試驗溶液中及不同的暴露時間，觀察試驗生物只有 50% 能生存時之程度。為使試驗之生物在試驗中獲得適當的溶氧量，試液以打氣機充氧，並每二天更換試驗溶液。

從今年三月間在朴子溪和北港溪等河口及北港橋下所取的河水，為生物檢定的結果。文蛤在朴子溪水中半數死亡時間為 9 天在北港溪水中為 11 天，北港橋下之溪水則為 12 天，朴子溪似乎較北港溪污染程度略高，一般言之，三月間朴子溪及北港溪河川並不致影響造成貝類的死亡，而實際上，北港溪受工廠廢水之污染，以下游較為嚴重，因紙廠等多設於中下游。上述試驗係純河川水質之生物檢定，比重為 1.002—1.003，顯然影響文蛤之開殼率。若將河水以海水稀釋成 20%，則半數死亡時間在朴子溪為 10 天，北港溪水為 15—16 天 (表 7)，可見 3 月間河水尚不具任何毒性，因此未有死亡發生。

Table 7. Bioassay results of river water on March 18, 1975.

River	conc. %	specific gravity	No. of clam	No. of clam survival after							TLm (days)
				24 hr	48 hr	72 hr	96 hr	120 hr	144 hr	168 hr	
Po-tsu	100	1.003	10	10	10	10	9	8	7	7	9
(Estuary)	20	1.023	10	10	10	10	10	9	9	9	10
Pei-kung	100	1.003	10	10	10	10	10	8	8	7	11
(Estuary)	20	1.023	10	10	10	10	10	9	9	9	15
Pei-kung	100	1.002	10	10	9	9	8	8	7	7	12
(Bridge)	20	1.020	10	10	10	10	10	9	9	9	16

今年4月8日南部曾有一陣大雨在9和10日兩天所採取的溪水及現場海水，以牡蠣檢定的結果 (

表8)，在一天內均無死亡發生，但第二天時，則死亡80%，北港溪污水之濃度為5%，10%，15%，其死亡率在第三天為100%，與三月份之測定結果比較，四月份之溪水，毒性甚強，此因大雨後將河床沉積之污水沖下所致，而直接影響養殖貝類的死亡，為證實北港溪污水毒性程度，將污水配成1%，2%，3%，4%，5%之濃度並與清淨海水作比較，結果如表所示，在純淨海水中文蛤之生存率192小時（8天）為100%；在10%污水中48小時為80%，96小時為20%；污水濃度2%中，72小時之生存率為60%，96小時完全死亡；在3%溶液中72小時之生存率為40%；5%中72小時之生存率為20%（表9）。由上述試驗得知，北港溪污水即使在1%之濃度72小時可使貝類死亡20%，96小時死亡率則增至30%，污水濃度愈高死亡率也增加，半數死亡時間縮短，從現場調查結果及漂流瓶試驗，4月8日下大雨，9、10兩天並無死亡發生，11、12日相繼大量死亡，約在大雨後3至4天，其致貝類大量死亡之濃度及時間與實驗室之生物檢定結果相同。由於河川污水在金湖、東石一帶留有滯留的情形，使貝類死亡延續一星期以上。直至4月29日大雨以後及5月中，經常豪雨，使污水稀釋，文蛤的成長始恢復正常，再無文蛤浮出沙面，與一般漁民所指大雨後有促進文蛤成長之情形相符。由污水之生物檢定顯示，4—5月間之第一次大雨，沖下河床之沉積污水至河口養殖場是本省貝類大量死亡的主要原因，河口地形及沙洲的影響是促成廣泛死亡的間接因素。

Table 8. Bioassay results of polluted water in Pei-kung River and its estuary on April 10, 1975.

Test water	Conc. %	Specific gravity	No. of oyster	Survival of oyster after						
				24 hr	48 hr	72 hr	96 hr	120 hr	144 hr	168 hr
Control	100	1.025	10	10	10	10	10	10	10	10
Estuary	100	1.017	10	10	6	2	0	0	0	0
	100	1.018	10	10	8	6	0	0	0	0
River	5	1.023	10	10	8	0	0	0	0	0
	10	1.023	10	10	6	0	0	0	0	0
	15	1.022	10	10	5	0	0	0	0	0

Table 9. Bioassay results of Pei-kung River water on April 15, 1975.

Test water	Conc. %	No. of clam	Survival of clam after					
			24 hr	48 hr	72 hr	96 hr	120 hr	144 hr
Control	100	10	10	10	10	10	10	10
Estuary	100	10	10	8	8	2	0	0
	100	10	10	10	6	0	0	0
River	5	10	10	10	4	0	0	0
	10	10	10	8	8	0	0	0
	15	10	10	8	2	0	0	0

Remark: Hard clam length: 2.73-3.43cm; weight: 5.90-8.98; temperature: 25-27°C

此外，在金湖沿海至北港溪口，選擇4處觀測站 (Stas.10,11,12,13)，作文蛤、牡蠣之現場海水生物檢定。其結果在4月14日至19日之間移殖的牡蠣、文蛤每日均有部份死亡，由此證明在此期間海中之污水已被稀釋，但仍略具輕微毒性，與上述污水滯留的情形不謀而合。

植物性浮游生物分析與貝類食性

1. 各月份浮游生物量之變化

圖16為自1974年11月—1975年6月，於東石、金湖各測站所採集之植物性浮游生物沉澱量、平均數和標準偏差(±SD)。圖中顯示11、12及2、3月之沉澱量甚少，平均每立方公尺之海水僅有0.2—0.3cc之沉澱量至3月以後，浮游生物之沉澱量才有顯著之增加，其平均沉澱量為每立方公尺海水中含有3—4cc，最高達10cc以上。由於浮游生物在海中成群落狀態，加以河川雨水夾帶而流出之有機物污水營養了本區之海水，再加以艷陽高照，是以在4、5、6月分植物性浮游生物大量繁殖。各測站所採集之浮游生物量大小變異甚為懸殊，在河口附近由於海水混濁含砂率多浮游生物量較少。

Table 11. The monthly variation of composition of phytoplankton (continue)

genus name	Month					
	Apr 1974	May	Jun	Jul	Aug	Sep
Bacillariophyceae						
Melosira sp.	+++	+	++	++		
Strphanopyxis sp.	+++	+	+++			
Skeletonema costatum			++	++	+	
Thalassiosira spp.	++	+	+	++		
Coscinodiscus spp.	+++	+	++	++		+
Bacterosira sp.	+					
Corethron sp.	+	+				
Lauzieria sp.	++	..				
Schroederella spp.	++	++				
Detoneula spp.	+		+	+	+	
Leptocylindrus spp.	+++	+			+	
Guinardia spp.	..		+	+		++
Rhizosolenia spp.	+++	++	++	+++		+
Bacteria strum spp.	++++	+	++	+++		+
Chaetoceros spp.	++++	+++	++++	+++	++	
Eucampia spp.	+++				+	
Climodium spp.			+			
Biddulphia spp.	+++	++		+		
Hemiaulus spp.	++	++				
Licmophora spp.	..	++	++			
Licmosphebia sp.	+				+	
Climacosphenia spp.			+			
Fragilaria spp.			+++	++		
Thalassionema spp.	..		++	++	++	
Thalassiothrix spp.		++				
Asterionella spp.	++	+	+	+	+	
Cocconeis sp.			+	+		
Diploneis sp.				+		
Plourosigma spp.					++	
Stauroneis sp.					++	
Navicula spp.	+	+	++	++		
Tropidoneis sp.	+		+	+		
Amphora spp.				++		
Bacillaria spp.				++		
Nitzschia spp.	++	+++	+++	+++		++
Cyanophyceae						
Tricodesmium spp.	+	+++	++++	++	++	
Oscillatoria spp.	++	+++			++	+
Myrocystis spp.	++	++	+++			
Sprogyra spp.	+	+				
Chlorophyceae						
Pediastrum spp.	++	++	+			
Scolecemus spp.	++	++	+	+		
Closterium spp.	+	++	+			
Flagellata						
Corallium spp.	++	+	+			
Peridium spp.	+		+			

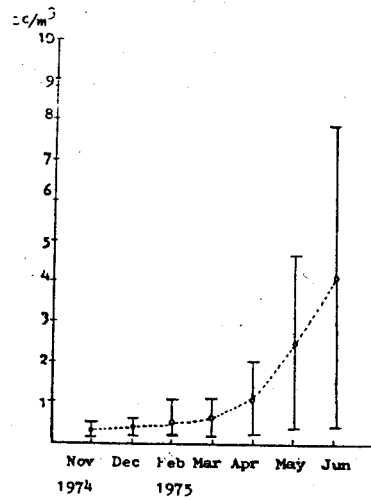


Fig.16 The monthly variation of settling volume cc/m³. Vertical line show the standard deviation ±SD

2. 主要植物性浮游生物種類組成

各月分主要植物性浮游生物組成如圖17所示，在11月所採集到之植物性浮游生物以藍藻類之 *Tricodesmium*, *Oscillatoria*，矽藻類以 *Bacillaria* 為主。12月則以矽藻類 *Coscinodiscus* 和 *Bacillaria* 和 *Eucomphia* 為主，2月也是以矽藻類之 *Cosinodiscus*, *Bacillaria*, *Paradora* 和 *Thalassionema spp* 為主。3月則以矽藻類之 *Thalassionema* 和 *Cosinodiscus* 為主。4月則以藍藻類之 *Oscillatoria* 及矽藻類之 *Chaetoceros* 和 *Rhizosolenia* 為主。5月以藍藻類之 *Tricodemiums* 和 *Oscillatoria* 及矽藻類之 *Chaetoceros* 和 *Rhizosolenia* 為主。到6月則發現矽藻類之 *Skeletonema costatum* 佔絕大多數，其次為 *Chaetoceros* 和 *Rhizosolenia*。

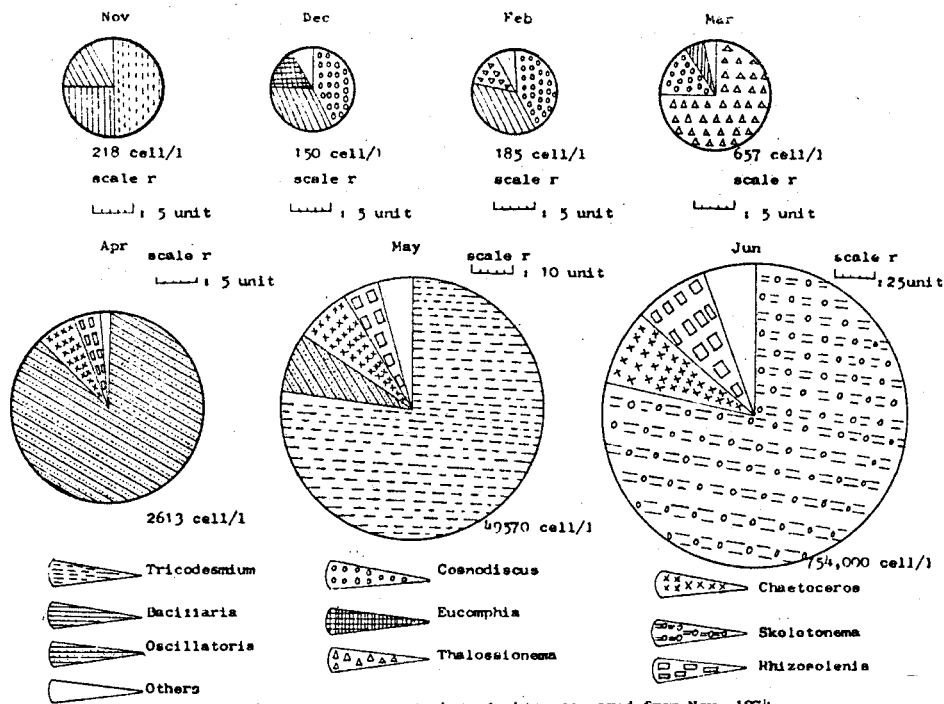


Fig. 17. The major genus of phytoplankton appeared from Nov. 1974-Jun. 1975

各月所發現之植物性浮游生物如表11所示。11月所發現之植物性浮游生物計矽藻類14種，藍藻類4種，綠藻類僅有1種。12月所發現之種類比11月更為少，矽藻僅有6種，藍藻類2種，綠藻類則無，鞭毛藻1種，2月以後，植物性浮游生物的種類就逐漸增加，至5月所發現之種類為最多矽藻類有22種，藍藻類5種，綠藻類5種，鞭毛藻類2種。由於植物性浮游生物幾無游泳能力，是以其浮游與海水比重有極大之關係，而冬夏兩季之海水比重不一樣，因此在海中之植物性浮游生物隨季節變化其組成亦有極大的變異。如在12—2月所發現之種類以硬殼比重大矽藻類之 *Coscinodiscus* 及 *Bacillaria* 兩屬為主。

Table 11. The monthly variation of composition of phytoplankton.

genus name	Month	Nov	Dec	Feb	Mar	Apr	May	Jun
		1974		1975				
Bacillariophyceae								
Meloeira sp.				+	+	+	+	
Stephanopyxis sp.					+	+	++	
Skeletonema costatum		++		++	++	+	+	++++
Thalassiosira spp.				+	++	++	+	
Coscinodiscus spp.		++	++++	++++	+++	+		++
Planktoniella spp.				+				
Gosselerella sp.				+	+			
Corethron sp.				+				
Lauderia sp.								
Schroederella spp.							++	
Detonula spp.							++	
Leptocylindrus sp.		++		+			+	
Guinodia spp.		+			++	++	+++	
Rhizosolenia spp.		+	+	+		++	++	+++
Bacteriastrum spp.					+	++	++	
Chaetoceros spp.				++	++	++	++	+++
Eucombia spp.		+	+	++	+	+	+	+
Climacodinium								+
Ditylum sp.		+						
Biddulphia spp.			++	++	++	+	+	+++
Memalia spp.						+	+	+
Rhabdonema sp.					+			
Climacophenia spp.								+
Fragilaria spp.							+	
Synedra spp.		+		+	+	+		
Thalassionema spp.			+	++	++++		++	++
Thalassiothrix spp.		+	+	++		+	+	+
Asterionella spp.				+			++	++
Campyloneis sp.		+				+	+	
Pleurosigma spp.				+	+		+	+
Navicula spp.							+	
Denticula spp.		+++						
Bacillaria paradoxa		+++		+++	+		+++	
Nitzschia		++		++	++		+++	+++
Frustulina		+			+			
Tabellaria				+				
Cyanophyceae								
Oscillatoria spp.		+++	+	++	++	++++	++++	+
Richelina		+				+	++	
intercellularis								
Tricodesmium erythraeum		++		+	++	++++	++++	
Merismopedia sp.				+			+	
Microcystis spp.		+++	+++	+++		++++	++++	
Chlorophyceae								
Pediastrum spp.						++		+
Scenedemus spp.						++	++	
Closterium spp.							++	
Spirulina sp.						+		+
Euntia sp.		+						
Hormidium sp.				++			++	
Oedogonium sp.					+			
Cosmarium sp.					+			
Zygnema sp.							+	
Flagellata								
Ceratium spp.			+		++		++	
Peridinium spp.							+	

Note: Spp. after the genus names mean that two or more species were contained in all the samples. The frequency in occurrence of phytoplankton cell was grades as follows:
 +++++, Very abundant.
 ++++, Abundant.
 +++, Common.
 ++, Rare.
 +, Very rare.

在5、6月因海水溫度與比重小，是以比重大之 *Coscinodiscus* 及 *Bacillaria* 二屬很少發現，而以比重小之 *Tricodesmium*，鍊狀之 *Skeletonema*，有長毛之 *Chaetoceros* 和 *Biddulphia* 所代替。綠藻綱之 *Pediastrum*，*Scenedemus*，*Hormidium*，*Closterium* 這四屬均屬於淡水性的，生長於湖沼或河中，這類之植物性浮游生物能在海中發現，顯然是由河川所帶來的，此類之植物性浮游生物在11—3月幾無發現，至4月以後，才有少量或多量的發現，顯然4月以後河川之水才排入海洋，因此，此類在海中發現可做為河水，流入海洋動態指標。

3. 逐日採集之沉澱量變化

如圖18為自4月8日起至5月20日止逐日或隔日調查現場時，以植物性浮游生物網所做之水平採集浮游生物沉澱量之每日平均值，由圖中顯示自4月9日起至4月13日止浮游生物之沉澱量由每1.5立方公尺由1.5cc增加至7.1cc，4月13日以後就呈直線下降至每1.5立方公尺有沉澱量1.5cc左右，以後就一直維持在每1.5立方公尺1cc左右之沉澱量到4月底。從5月3日至5月8日沉澱量又有一個高峯，是從5月3日起由每1.5立方公尺海水擁有1.8cc之沉澱量驟增至11.5cc，而後又逐漸下降至5月12日1cc左右之沉澱量，在5月18日到5月20日沉澱量又有一高峯出現由3cc增至8cc。若從氣象資料來看浮游生物之量變化時，則很容易看出浮游生物之繁殖與雨量有很大的關係。由圖中可看出每逢陣雨過後5、6天就有大量之浮游生物繁殖，如4月8日之陣雨而使4月13日之浮游生物量增加，4月29日之陣雨使5月5日至5月8日之浮游生物量驟增，5月17日之陣雨使5月20日浮游生物量增加。若從潮水來看，則浮游生物之繁殖量與潮流亦有很密切之關係，4月13及5月8日之浮游生物大量出現均在小潮日。

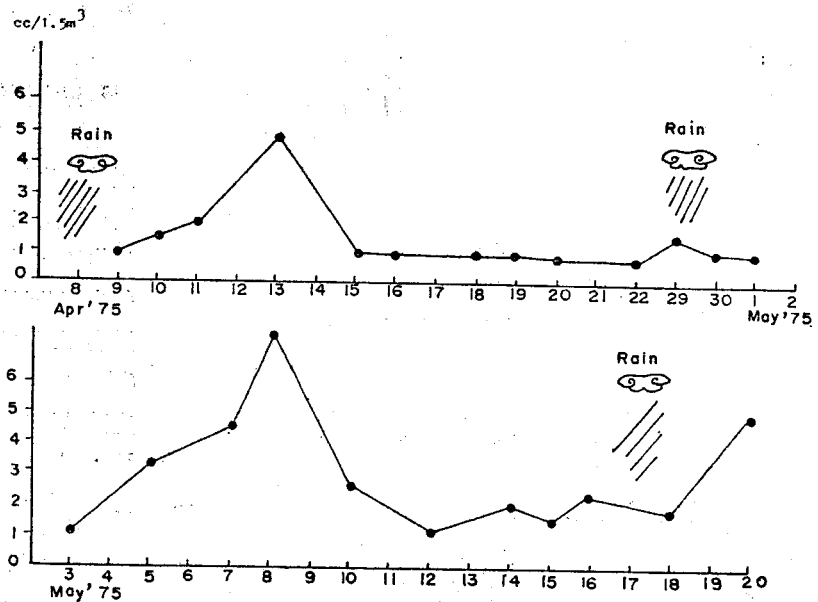


Fig. 18. The variation of average settling volume from Apr 8 to May 20 1975.

由以上之資料顯示金湖區貝類養殖場浮游生物異常之繁殖必在雨後，河水將陸上之有機或無機營養物携下，在小潮水時由於營養物不易隨潮流沖走是以能使浮游生物異常繁殖，因此養殖漁民常說3月底、4月初逢第一次陣雨若牡蠣、文蛤未發生死亡時，雨量越多此等貝類成長越良好，顯然與浮游生物的變化有關。

4. 赤潮現象

關於本省西南貝類養殖場是否發生赤潮現象，過去由於無確實之資料一直對這問題發生爭論，因為以往本所調查隊曾屢次前往調查，但未能發現過任何赤潮之跡象。所謂赤潮出現是指某一些種類之浮游生物（包括動物性、植物性浮游生物）在有限的水域內發生大量繁殖情形。赤潮一般人稱之為苦潮、腐水潮、危水。英文稱之為紅水（Red water）、綠水（Green water）、黃水（Yellow water）、變色水（Discolored water），這些都是由於生物之大量繁殖致使海水水色變化，而海水變色也有可能因為工廠之廢水排出所致，因為找不出赤潮之證據以致後來也有人認為本省西南貝類養殖場海水之變色全都是由於河川所排之污水所致，並且認為赤潮在本省西南貝類養殖場不可能發生。但經本所調查隊於長期駐於雲林縣口湖鄉金湖村，逐日調查北港溪口、朴子溪口及外傘頂洲附近貝

類養殖場之浮游生物，才發現浮游生物有異常之大量繁殖，也就是有赤潮現象發生，茲將本所調查除於4月29日至5月25日逐日或隔日調查養殖場之情形詳述於下：自4月8日本省西南部曾下大雨後，一直至4月28日都未曾下過雨，天氣十分炎熱，一直到了4月29日上午才再有一陣傾盆大雨，從雨後海況及浮游生物調查，發現浮游生物之平均沉澱量每立方公尺海水為 1.3cc 各站之標準偏差為 1.1cc，每立方公尺海水之總細胞數為 10^5 個其中

以 *Oscillatoria* 屬，*Chaetoceros* 及 *Rhizosolenia* 屬為主如圖19、20所示

• 4月30日調查北港溪口附近養殖場時發現污水塊於河口附近漂浮，各站所採集之植物性浮游生物每立方公尺海水沉澱量平均為 2.1cc，各站沉澱量大小之變異範圍在 1cc 左右，分析植物性浮游生物外，並發現含有機物質甚多，平均每立方公尺海水含植物性浮游生物細胞數有 7.5×10^4 個，以 *Oscillatoria* 和 *Chaetoceros* 兩屬量較多，5月1日調查養殖場時，發現污水塊乃漂浮在海表面，觀察浮游生物沉澱量在 1cc 左右，

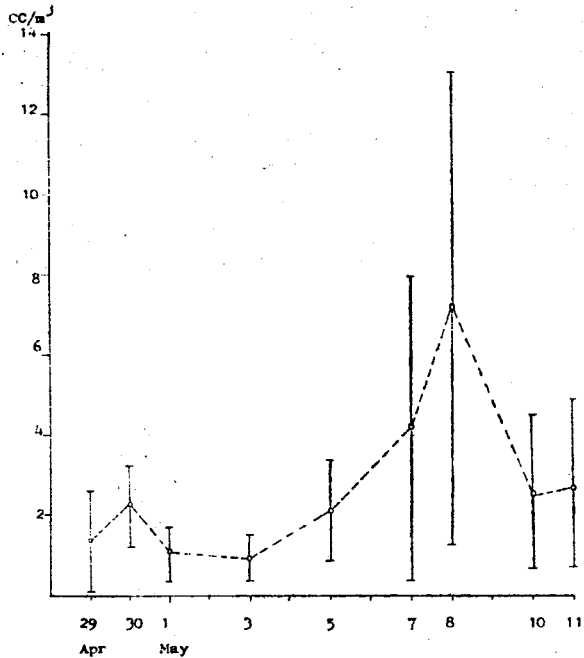


Fig. 19. The settling volume from Apr. 29 to May 11, 1975. Vertical line show the standard deviation.

各站沉澱量之變化範圍 0.5cc，並亦發現含有大量之有機碎屑物，平均每立方公尺海水含植物性浮游生物細胞數量為 5×10^4 個，其主要種類為 *Tricodesmium erythraeum*, *Nitzschia spp.* 和 *Oscillatoria* 較多。5月3日，海面極為平靜，天氣炎熱海面乃有污水漂浮，浮游生物沉澱量每立方公尺約在 1cc，各站沉澱量變異範圍不超過 0.5cc，每立方公尺海水中之植物性浮游生物細胞數增至 4×10^5 個，其主要種類為 *Phizecionia spp.*, *Tricodesmium erythraeum*, *Thalassionema spp.*。5月5日北港溪口北面仍有污水塊滯留，浮游生物量平均每立方公尺海水為 2.1cc 各站之變異範圍為 1.1cc，植物性浮游生物之總細胞數每立方公尺約為 4×10^5 個，主要種類為 *Tricodesmium erythraeum*, *Chaetoceros*

和 *Oscillatories crnata*。5月7日平均浮游生物沉澱量增至每立方公尺海水 4.3cc，各測站沉澱量

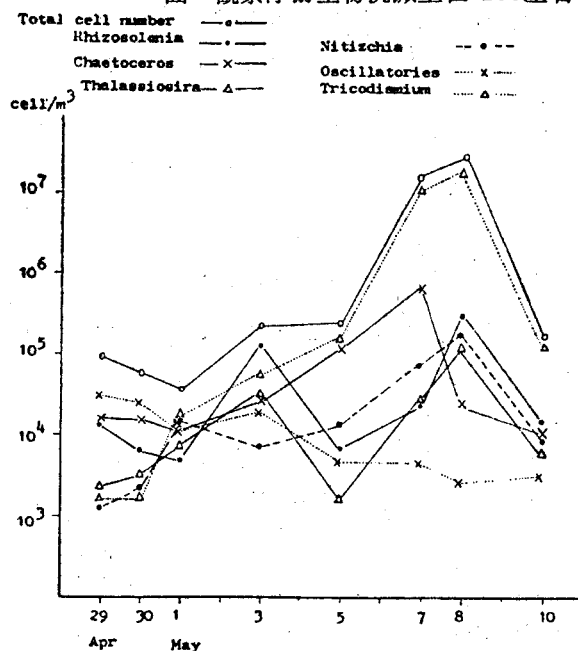


Fig. 20. The major genus of phytoplankton appeared from Apr. 29 - May, 10 1975

之變異範圍為 3.5cc，植物性浮游生物之細胞數平均每立方公尺海水增至 10^7 個，以 *Tricodesmium erythraeum* 佔絕大多數，其次為 *Chaetoceros spp.*。5月8日在北港溪口外海(圖21)發現有黃色水塊狀之細小懸浮物漂浮海面厚度約有 5—20公分，以植物性浮游生物網少許一撈便得滿滿一網黃色粘狀物，取回置於實驗室，在夜間發出淡藍色螢光，以水稀釋置於顯微鏡下觀察發現均屬於藍藻類之 *Tricodesmium erythraeum* 種，分析其細胞數估計每cc之黃色水塊水中有此種生物超過 4 萬個以上，並在金湖外海附近發現有濃綠色之漂浮物約 5-6 公分厚，以植物性浮游生物網少許一撈也是滿滿一網，經鑑定此為屬於藍藻類之 *Microcystis* 屬稱之為水華，估計每cc之細胞數在 6 萬個以上，此均為赤潮現象。該日於各站所採集到之浮游生物沉澱量平均每立方公尺海水為 7cc，各站之沉澱量變異範圍甚大，約為 6cc。每立方公尺海水之植物浮游生物細胞總數平均為 5×10^7 個，以 *Tricodesmium erythraeum* 佔絕大多數。5月10日海上風浪很大，各測站所採集到之浮游生物下降至平均每立方公尺海水僅有 3cc 左右，分析植物性浮游生物組成仍以 *Tricodesmium erythraeum* 為主 (表12)。

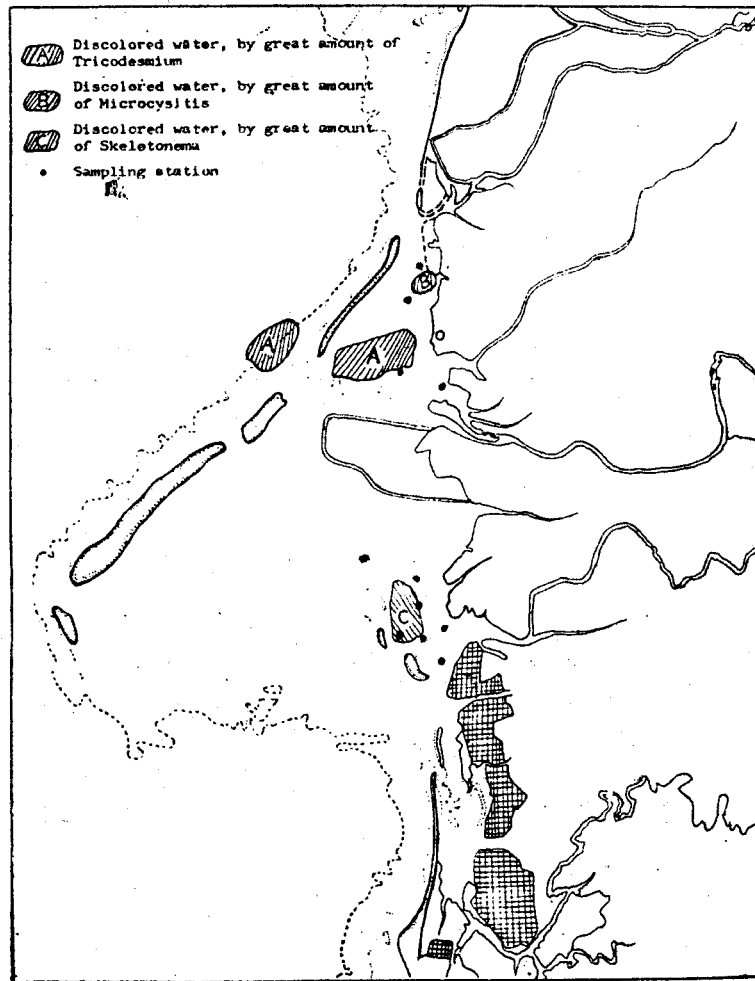


Fig.21. Sampling area of phytoplankton collection

Table 12. The composition of phytoplankton from Apr 29 - May 12 1975

Date	Apr.29	Apr.30	May.1	May.3	May.5	May.7	May.8	May.10	May.12
genus name									
Bacillariophyceae									
Melosira sp.	+		•		•	++	•		
Stephanopyxis sp.	+	•	•		•	•			
Skeletonema costatum	+		•		•	++	•		
Thalassiosira spp.	++	++			•	•	•		
Coscinodiscus spp.	+	•	•	•	•	•	•		
Schroederella spp.					•	•	•		
Detoneula spp.				•	•	•	•	•	•
Leptocylindrus spp.			•		•				•
Cuinordia spp.	++	++	•	•	•	•	•	•	•
Rhizosolenia spp.	++	•	•	•	•	•	•	•	•
Bacteriastrium spp.	++	•	•	•	•	•	•	•	•
Cheetoceros spp.	++	•	•	•	•	•	•	•	•
Eucampia spp.	+	•	•	•	•	•	•	•	•
Biddulphia spp.	+	•	•	•	•	•	•	•	•
Hemidialus spp.	+	•	•	•	•	•	•	•	•
Fragilariceae sp.					•	•	•	•	•
Synedra spp.	+	•	•		•	•	•	•	•
Thalassionema nitzchioides	+	•	•	•	•	•	•	•	•
Asterionella japonica				•	•				
Campyloneis sp.		•	•		•			•	
Diplonies sp.		•							
Pleurosigma spp.		•	•		•	•	•		•
Navicula spp.					•		•		
Amphora spp.				•		•			
Bacillaria paradoxa		•	•		•				
Nitzschia		•	•	•	•	•	•	•	•
Cyanophyceae									
Oscillatoria spp.	++++	•	•	•	•	•	•	•	•
Richelia intercellularis	+	•	•	•	•	•	•	•	•
Tricodesmium erythraeum	++++	•	•	•	•	•	•	•	•
Merismopedia sp.				•	•	•	•	•	•
Microcystis spp.	++++	•	•	•	•	•	•	•	•
Chlorophyceae									
Pediastrum spp.	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Scenedesmus spp.	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Closterium spp.			•	•	•	•	•	•	•
Spirulina sp.				•	•	•	•	•	•
Cosmarium sp.				•	•	•	•	•	•
Flagellata									
Ceratium spp.	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Peridinium spp.					•	•	•	•	•

Note: Spp. after the genus names mean that two or more species were contained in all the samples.

The frequency in occurrence of phytoplankton cell was grades as follows:

++++, very abundant.

+++ , abundant.

++ , common.

+ , rare.

• , very rare.

赤潮之發生必有其特殊條件：1 必為營養豐富，2 在風平浪靜之灣內，3 季節適當等。金湖、東石之貝類養殖區位於北港溪口、朴子溪口，外有統仙洲和外傘頂洲所構成似一內海灣，自4月29日一場大雨後，使陸上之營養鹽沖洗而下滯留於灣內，4月30日至5月8日海上一直風平浪靜，加上小潮日，潮流緩慢，因此為造成赤潮之良好的條件，終於在5月8日發生 *Tricodesmium erythraeum* 之大量繁殖，形成一片片之黃色水塊在海中漂浮，但到5月10日海上風浪增大赤潮現象就隨而消失。

除以上所述5月8日在金湖、東石養殖在發生赤潮外，在6月23日調查東石養殖場圖（圖21）亦有發生赤潮現象，即在養殖區之海水呈青綠色，每立方公尺海水之沉澱量高達75cc，最主要種類是 *Skeletonema costatum*，此便稱為 *Skeletonema* 所造成之青潮。

5. 牡蠣食性

牡蠣是從周圍海水過濾而攝食，由鰓之纖毛運動，使海水由外套腔進入再通過鰓絲間，然後從鰓上腔流出，浮游生物就在通過鰓絲時為鰓絲之側部纖毛過濾到，而後由纖毛之運動將其送入唇弁，大形之浮游生物在進入鰓室時就被外套膜之觸弄碎，再將浮游生物送入口中。若是重的物體在入鰓以前就沉澱下來，然後被唇弁之纖毛運動所排除。一般在牡蠣胃中所發現之浮游物為有機殘屑、硅藻、鞭毛蟲、砂泥土等，但其主要之餌料是以小形之單細胞藻類和鞭毛藻類為主。研究東石、口湖牡蠣的食

性，發現牡蠣之胃內含物主要為硅藻類之 *Thalassionema Rhizosolenia*, *Coscinodiscus*, *Skeletonema*, *Pleurosigma*, *Navicula*, *Biddulphia*, *Chaetoceros*；鞭毛藻類 *Ceratium*, *Peridinium*, *Dinophysis*；藍藻 *Tricodesmium*；纖毛蟲之 *Tintinnopsis* 及牡蠣之幼生，橈腳類之 *Nauplii* 均在胃中發現過。

牡蠣、文蛤均以植物性浮游生物為主食，因此植物性浮游生物量之多寡自然影響此等貝類之成長，從本資料來看，植物性浮游生物在11月至3月量均甚少，至3月以後便一直增加，且有異常大量繁殖之現象發生（赤潮）。過去所認為本省貝類由於食物缺乏，身體虛弱，加上環境因素之突變而造成大量死亡的可能性似乎很小。因文蛤、牡蠣之大量死亡都發生在4、5月，而在3月以後浮游生物量却有顯著的增加，食物的短缺問題，似乎不太可能。

在4月以後每逢下雨後相隔5、6天植物性浮游生物便會大量繁殖甚致造成赤潮現象，但從本年度調查發現牡蠣、文蛤大量死亡是發生在入春第一次下雨之3、4天後才產生死亡，而赤潮之發生必在下雨後5、6天在風平浪靜，天氣炎熱下才發生的。可見本省西南沿海赤潮的發生是小規模且是暫時性的現象，與貝類大量的死亡似乎沒有直接的關係。不過雖與貝類大量死亡無關，但赤潮的存在已不容置疑。

貝類養殖密度試驗及移植試驗

近年來西南沿海貝類養殖面積與單位面積放養數量的顯著增加，被認為與大量死亡有關，但理想的放養數量到底是如何，却無實驗的數據。本試驗是為了解與證實文蛤放養密度是否為導致文蛤死亡的原因之一，進而探討不同放養密度對文蛤成長之影響，期能尋找出較適當之放養密度，以減少死亡而獲得最高之生產。

本試驗是在現場，將文蛤苗以每平方公尺150, 200, 250, 300及400粒等之不同密度分別放養，每月或每週測定其成長度一次，成長測定包括殼長、殼高、殼寬及體重，測量方法如 Tseng and Chen (1974) 所示。

1. 相異密度與死亡率之關係

試驗期間文蛤之死亡最初見於3月，陸續發生至5月中旬而止，平均每週之死亡率極低，可能與試驗區之地理環境有關，其斃死情形見圖22。今年4月間養殖牡蠣發生大量死亡，死亡率高達80%以上，但本試驗之文蛤死亡輕微，而一般文蛤斃死時間均較牡蠣為遲，且延續較長。本密度試驗區，以4月21日至27日各組死亡率較高，其中B組最高為3%。就死亡總個體數而言，以E組（400粒）死亡64個為最多，死亡率為10.94%，其次是B組（200粒）死亡44個，C組（250粒）死29個，D組（300粒）死23個，A組死13個，累積死亡率以B組12.63%最大，E組次之，D組最小為5.42%（圖22）。就死亡情形來看，每平方公尺放養300粒，其存活率較高，密度較適當。根據現場調查北港溪污水影響貝類死亡不容置疑，但對文蛤而言，干潮時間的長短與浸水時間也是文蛤死亡的重要因素。此外，肉螺食害亦為文蛤死亡原因之一，然其危害極輕微與大量死亡無關。

本試驗雖不能代表全面性貝類的死亡情況，但其結果已證明，貝類大量死亡與放養密度無直接關係。

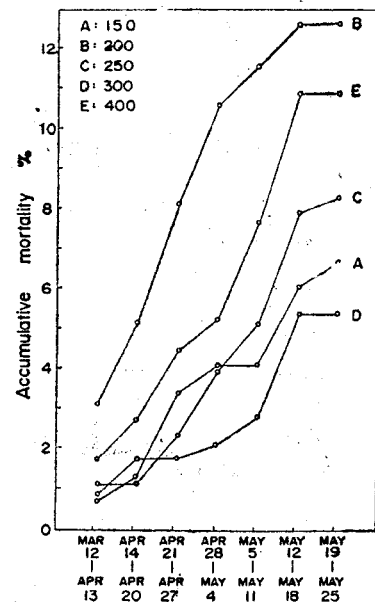


Fig. 22 Weekly mortality of clam in relation to different density.

2. 相異密度與成長之關係

試驗期間各不同密度文蛤之成長情形如圖23-26。圖23為文蛤殼長之增長情形，自63年12月至64年5月為止，A組成長0.764cm，B組成長0.752cm，C組為0.830cm，D為組0.870cm，E組為0.958cm。結果以E組每平方公尺400粒之成長較快，然經變方分析結果，各組間殼長之增加並無顯著性差異。至於殼寬、殼高及體重之增長與體長之增加類似（圖24—26），D組中殼高之增長較殼寬及體重之增加更顯著，一般均與密度成正比，然各組間之成長亦無顯著性差異存在。換言之，文蛤放養度在每平方公尺400粒以下時，其成長不受密度之影響（表13）。

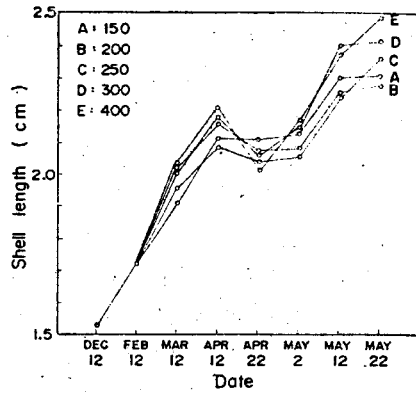


Fig. 23 Increase in shell height of clam cultured for 5 months. Figures indicated density per meter square.

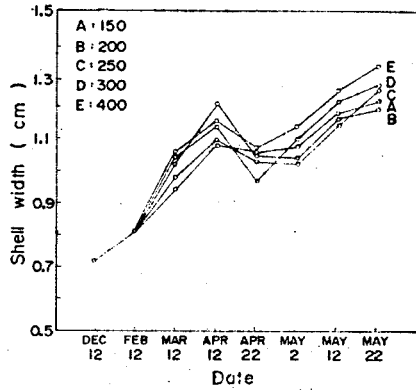


Fig. 24 Increase in body weight of clam cultured for 5 months. Figures indicated density per meter square.

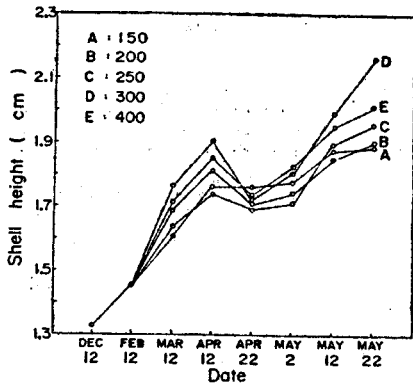


Fig. 25 Increase shell length of clam cultured for 5 months. Figures indicated density per meter square.

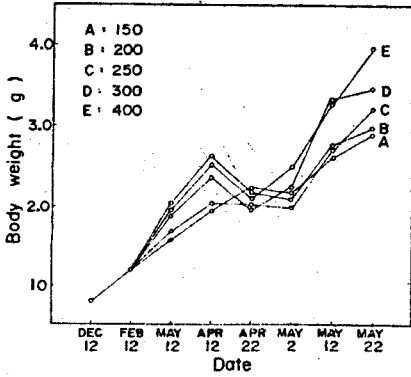


Fig. 26 Increase in shell width of clam cultured for 5 months. Figures indicated density per meter square.

Table 13. Analysis of growth variance of hard clam between different cultivated density. Density: 150, 200, 250, 300 and 400 individuals. Area used: 1 m².

a. Shell length of clam

Source of Variation	DF	S S	MS	F value
Between class variation	4	0.0070	0.002	0.11 _{ns}
Within class variation	25	0.4453	0.018	
Total	29	0.4523		

b. Shell height of clam

Source of variation	DF	S S	MS	F value
Between class variation	4	0.1254	0.031	0.75 _{ns}
Within class variation	25	1.0452	0.0418	
Total	29	1.1706		

c. Shell width of clam

Source of variation	DF	S S	MS	F value
Between class variation	4	0.0174	0.0044	0.71 _{ns}
Within class variation	25	0.1560	0.0062	
Total	29	0.1734		

d. Body weight of clam

Source of variation	DF	S S	MS	F value
Between class variation	4	0.822	0.206	0.737 _{ns}
Within class variation	25	8.829	0.353	
Total	29	9.651		

一般養殖場可能因放養時分散不均，或因地勢及潮水之影響以及文蛤本身具有移動性，致發現常有聚集蚵枝附近或網邊，造成密度不均現象，且差異甚大。表14即為不同密度之殼長與體重測定結果，其間之成長度亦無差異存在。根據Sagara (1952) 貝類之棲息密度對大型者影響甚大，成長較慢，小型者影響較小。由試驗顯示，本省文蛤在40mm以下時，放養密度在 400 粒/公尺²以內，則其成長與密度無關。

Table 14. Analysis of growth variance between different density. Area used: 30 square cm approx. Density: 16, 27, 48 individuals.

a. Body weight of hard clam

Source of variation	DF	S S	MS	F value
Between class variation	2	9.73	4.87	0.58 _{ns}
Within class variation	78	654.45	8.39	
Total	80	664.18		

ns: not significant

b. Shell length of hard clam

Source of variation	DF	S S	MS	F value
Between class variation	2	22.06	11.03	1.358 _{ns}
Within class variation	87	633.58	8.12	
Total	80	655.64		

ns: not significant

由以上試驗證實了：1文蛤放養密度每平方公尺150,200,250,300,及 400粒時其成長不受密度之影響；2密度在每平方公尺 400 (小於 40mm) 個以下，其死亡率與密度無關，但密度愈高者，死亡個體數也愈多；3從密度試驗中文蛤之成長與死亡情形來看，較適宜之放養密度是每平方公尺 300 個 (小於40mm)，即每公頃放養文蛤苗約 3,000台斤 (500粒/台斤)。

3. 移殖試驗

根據前述文蛤死亡率因地而異，不僅與浸污水時間有關，其死亡率亦受暴露時間長短之影響有關。為證實干潮時間與文蛤死亡之關係，將浮出沙面之文蛤作移殖試驗，結果移至深水處者，其生存率

在70%以上，可高達90%，而未經移植者其活存率僅20—30%左右，最高50%。顯然暴露時間太長是促使浮出沙面文蛤加速死亡的重要因素。根據現場觀測一般文蛤養殖場，其每次干潮時間，與距離流岸之遠近而有不同，近岸者有高達8小時之久，即每天之暴露時間長達16小時，其受污水毒害時間雖短，死亡率低，一旦浮出沙面，其生存機會也較少，死亡時間則較長。由移植試驗結果顯示，污水為導致死亡主要原因，而暴露時間的長短是文蛤陸續發生死亡的重要因素，也說明了移植對減少文蛤之死亡確實有效，主要是延長其浸水時間，增加其攝食機會。但移植措施不宜過遲，文蛤露出時間超過一天，其活存率大為降低。

結 論 與 建 議

1. 本省西南沿海養殖貝類自民國58年後，每年發生大量斃死現象，主要原因是受附近河川污水之影響所造成。

2. 生物檢定試驗中發現工廠廢水之沈澱物可使貝類生物死亡，然據報河川之底泥尚含有高於一般水中所含農藥500至700倍以上之高濃度殺蟲劑等，是否亦為貝類致死原因尚未知。

3. 貝類大量死亡每年大致發生在4—5月，乃因為本省西南部乾季後之第一次大雨通常發生在此期間，日期則年年略有變動。

4. 本省養殖貝類死亡情形因地而異，與其附近河川受污染之程度及其影響範圍有關。

5. 同一地區貝類死亡率之差異與河口地形及浸水時間之長短及海流有密切關係。

6. 東石、金湖一帶歷年死亡嚴重，係受外傘頂洲之影響，污水不易擴散，滯留時間較長，東石、外傘頂洲受北港溪及朴子溪污水影響死亡率較高，金湖沿海貝類死亡與朴子溪毫無關係。

7. 第二次大雨後浮游生物之大量繁殖，是促進貝類成長的因素，本省西南沿海確有局部性「赤潮」現象發生，但與貝類死亡無關。

8. 養殖密度過高雖非致死原因之一，然其死亡量顯然與密度之高低有關。

9. 移植對病態文蛤減少死亡雖屬有效，但不宜太遲，主要是減少其暴露時間並增加攝食機會，提高生存率。

10. 從水質分析、生物檢定均說明河川污水足以危害魚貝類生存，此等河川排出之污水所含何種毒物尚不可知，可能是綜合河川上游之各類工廠廢水，農藥或其它種物質之污染等，有待進一步徹底之分析。

建議事項：

(1) 要徹底解決本省西南沿海養殖貝類大量死亡之災害，改善養殖場附近受污染之河川污水為治標方法，進一步尋求毒質來源並加以處理才是治本之道。

(2) 盼及早實施水質及污染防治法，對排除未經處理之工廠廢水，應嚴加禁止，以保持淺海養殖業之發展，安定漁民生活。

(3) 在河川污水未獲解以前，漁民當配合氣象，在4至5月間，採取消極的防範措施以減少死亡及無謂之損失。筆者提議以下幾點供業者參考應用：

一、在第一次大雨後，速將垂下式牡蠣提放於蚵架上或竹筏上，減少其浸污水時間，最好是在退潮前行之。

二、文蛤因面積廣採收不易，可採收部分置於布袋或竹筐中並保持適當水分，或移植於未受污染的海水魚塢中。

三、一旦發現病態浮出沙面之文蛤應儘速移植於他處淨水之深水處，仍可減少其死亡率，其生存率可高達80%以上。

四、用沙包或布袋過濾污水或減少污水之成分進入養殖場可減少死亡。

五、養殖貝類魚塢於第一次大雨後，不應換水或引用海水入魚塢池中，應於大雨後一個禮拜或十天後再引水，以保池中魚貝類之安全。

六、每年3月中旬以前，由有關單位組成「貝類災害防治小組」，收集並發佈下大雨、污水動態，受害災情，防治方法等情報，提醒各業者事先加以處理或為防護，減少損失增加生產。

謝 辭

本研究承蒙農復會與國科會之補助工作經費及農復會漁業組副組長、袁技正柏偉、李技士健全和本所鄧所長之支持與鼓勵並惠賜寶貴意見，謹此表示謝忱。調查期間承東石區漁會黃居住先生、口湖區漁會曾天護先生之熱心協助及生物系同仁蔡添財、陳明薰、簡南光、李水木、謝秀麗、李雲華、陳淑珍、郭祖秀、顧戎娟等之協助標本處理，水質分析，繪圖，繕寫，打字工作，特此一併致謝。

特別要感謝的是本系同仁陳世欽、陳忠信、陳宗雄和張亞宗諸先生在駐守金湖近兩個月期間，幾次在海上風雨大浪的小舟中與筆者出生入死進行調查工作，以及實驗室內之徹夜分析資料工作，更是由衷地感謝。

參 考 文 獻

- 郭河，1964，臺灣經濟貝類調查，農復會特刊第38號，1-45。
- 林曜松，1969，嘉義養蚶之生態研究，農復會報告第8號，15-26。
- 曾文陽，1971，三條崙貝類死亡調查報告，水試所，生物系工作報告，1-10。
- 水產環境水質基準，1972，日本水產資源保護協會，1-47。
- 日本水產用水標準，1974，日本水產資源保護協會，1—52。
- 臺灣西南沿海養殖貝類大量斃死調查檢討會，1974，臺灣省水產試驗所，1-15。
- 曾文陽等，1974，63年度本省西南沿海貝類斃死調查，漁牧科學雜誌第一卷第七期，26—31。
- 曾文陽，1974，本省貝類養殖大量斃死調查與研究，臺灣省水產試驗所試驗報告。第24號，25—34。
- 曾文陽、陳世欽，1974，臺灣西海岸養殖文蛤成長之初步研究，臺灣省水產試驗所試驗報告第24號，35—53。
- 胡興華，1974，臺灣西南淺海養殖貝類斃死調查研究，臺灣水產試驗所試驗報告第23號，1-11。
- 楊名久，1975，64年度鹿港區貝類死亡調查報告，水試所鹿港分所工作報告，1-8。
- 曾文陽、陳世欽，1975，鹿港區養殖牡蠣生態研究，水試所試驗報告第25號，35-48。
- Calabrese, A. and H. Davis, 1966, The pH tolerance of embryos and larvae of *Mercenaria mercenaria* and *Crassostrea virginica*. *Biological Bull.* Vol. 131, No. 3. pp. 427—436.
- Chen, T. H. and W. Y. Tseng, 1974. Studies on the ocean outfall of Taichung Harbor. *Lab. Fish. Biol. Rep. No. 25*, pp. 1-50.
- Galtsoff, P. S., 1964, The American oyster, *Crassostrea Virginica* Gmelin. U.S. Fish wildlife serv., *Fish. Bull.* vol. 64, pp. 1--480.
- Jeng, S. S. and Y. W. Huang, 1973, Heavy metal contents in Taiwan's cultured fish. *Bull. Inst. Zool., Academia Sinica*, vol. 12, no. 2, pp. 79—85.
- Jeng, S. S. and L. T. Sun, 1974, Organochlorine pesticide residues in cultured fishes of Taiwan. *Bull. Inst. Zool., Academia Sinica*, vol. 131, no. pp. 37—45.

- Loosanoff, V. L. 1952, Behavior of oyster in water of low salinities. National Shellfisheries Association, 1952 Convention Addresses, pp. 135-151
- Sagara, T. 1952, On the relationship between population density and growth of clam, *Vencrupis semidewssata* and *Meretrix lusoria* with the interactive influence upon their growth. Bull. Jap. Soc. of Sci. Fish. Vol. 18, No. 6, pp. 249-262.
- Tseng, W. Y. 1975, Preliminary study on the drift bottle experiment in the water off Tansui. Lab. Fish. Biol. Rep. No. 26, pp. 12-26.