

JCRR

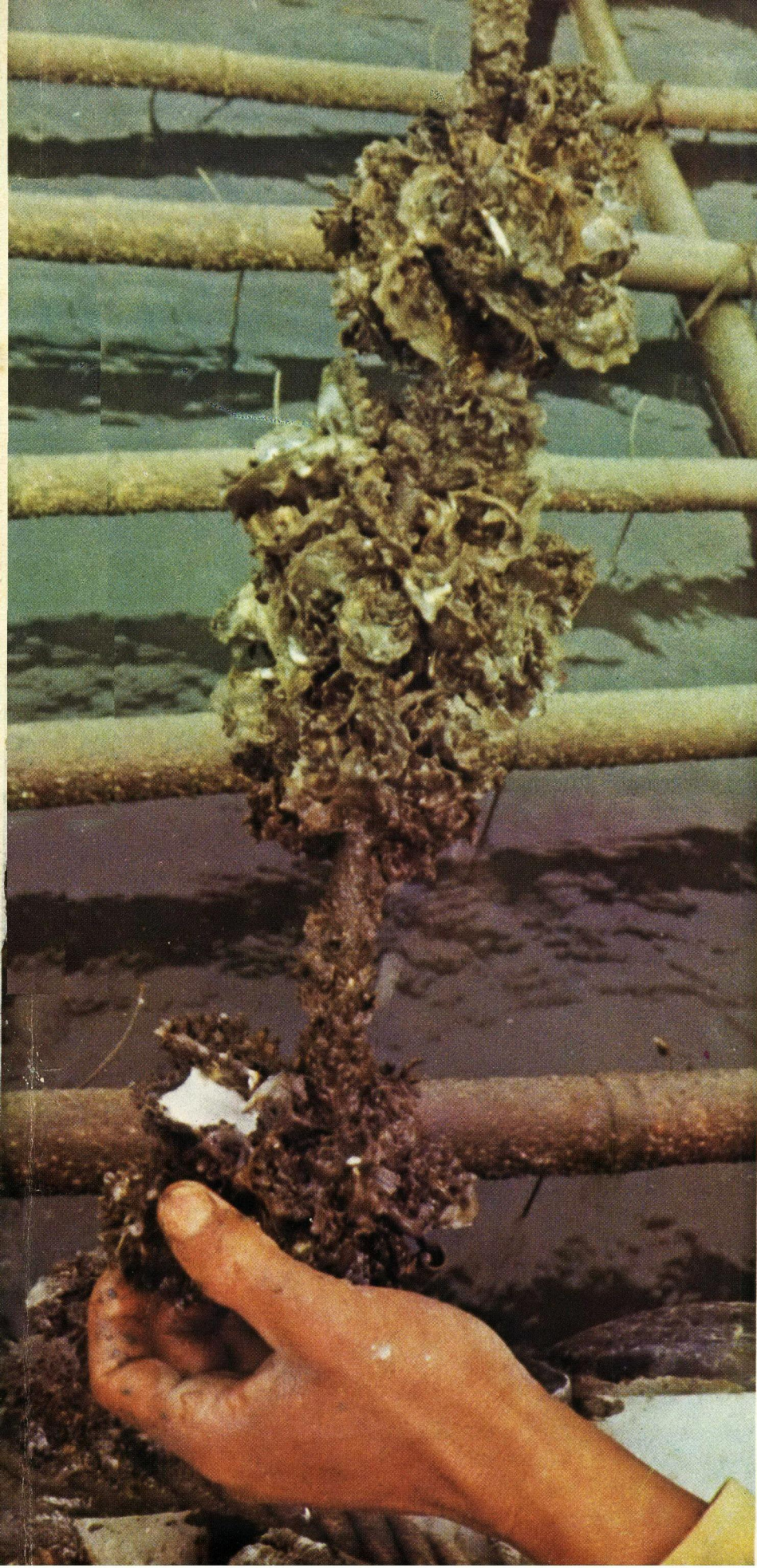


臺灣西南沿海養殖貝類
大量死亡原因之研究

Studies on Mass Mortalities of Cultured Shellfishes
along the Southwest Coast of Taiwan

Taipei, Taiwan, Republic of China

June 1975



**Studies
on
Mass Mortalities
of
Cultured Shellfishes
along
the Southwest Coast
of
Taiwan**

S. S. JENG, Ph. D.

Institute of Zoology
Academia Sinica
Nankang, Taipei
Taiwan
Republic of China

June 1975

14484



Explanation of plates

- 1, 2. Oysters cultivated by hanging method.
3. Clam beds in the tidal zone.
- 4, 5. Large scale death of clam.

6 to 9. The river condition of Pu-Tzu River in dry season (November to April) from upstream to downstream.
The quantity of the river water is small and the water is heavily polluted.

10 to 13. Condition of Pu-Tzu River at same places in rainy season (May to October).
The river is full of water and the pollution is light.



⑥



⑩

plates 6, 10. station 7.



⑦



⑪

plates 7, 11. station 6.



⑧



⑫

plates 8, 12. station 5.

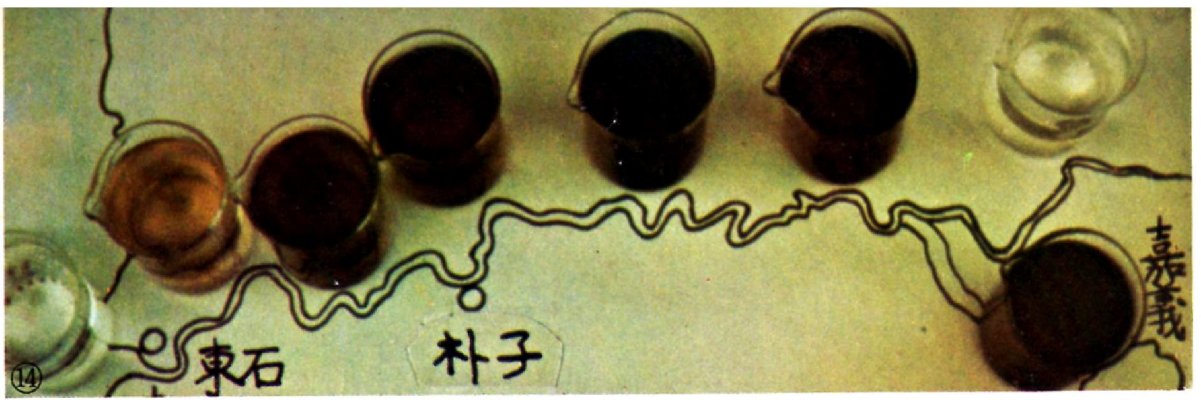


⑨

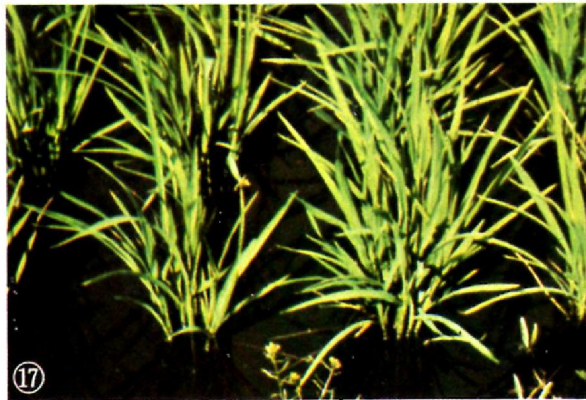


⑬

plates 9, 13. station 4.



14. Color of Pu-Tzu River water in dry season (right, upstream; left, downstream)



15. Industrial wastes discharged from plant.
17. Flow to rice paddy.

16. On way to river.
18. Near river.



19. Shrimps caught from clean river water.

20. Same species of shrimps caught from polluted river water.

目 錄

英文摘要.....	1
第一篇 臺灣貝類養殖近況與大量死亡現象	3
I 臺灣貝類養殖近況.....	3
II 貝類大量死亡現象.....	5
III 參考文獻.....	6
第二篇 臺灣西南部河川及其河口之水質化學	7
I 緒言.....	7
II 實驗方法.....	9
III 實驗結果.....	11
1. 朴子溪水流之整年變化.....	11
2. 朴子溪河水之原有水質.....	12
3. 朴子溪河水 COD 之季節變化.....	12
4. 朴子溪河水溶解氧量之季節變化.....	12
5. 朴子溪河水之 pH 變化.....	13
6. 朴子溪河水之水色.....	14
7. 朴子溪河水之胺態氮.....	14
8. 朴子溪河水其他水質之終年變化.....	14
9. 朴子溪河口之水質化學.....	15
10. 朴子溪上游工廠廢水之流路與溶氧量.....	19
11. 朴子溪及其附近河流溶氧量之比較.....	19
IV 討論.....	19
V 摘要.....	20
VI 參考文獻.....	20
第三篇 朴子溪河水及底土之急急性毒性.....	28
I 緒言.....	28
II 實驗方法.....	28
III 實驗結果.....	30
1. 朴子溪及其河口水質之生物檢定結果.....	30
2. 朴子溪河床底土對魚貝類之毒性.....	34

a. 底土對魚類之急性毒性.....	34
b. 底土對貝類之急性毒性.....	35
c. 浸於毒液之牡蠣移於清水之效果.....	35
IV 討論.....	37
V 摘要.....	38
VI 參考文獻.....	38
第四篇 重金屬、農藥與貝類死亡之關係	39
I 緒言.....	39
II 實驗方法.....	39
III 結果與討論.....	40
1. 養殖牡蠣中重金屬含量.....	40
2. 養殖牡蠣中有機氯劑農藥之殘餘量.....	41
3. 朴子溪底土中有機氯劑農藥含量.....	42
IV 摘要.....	43
V 參考文獻.....	43
誌 謝.....	45
參加工作人員	46
全文摘要.....	47

SUMMARY

Culture of oyster and clam along the southwest coast of Taiwan is one of the important fisheries of this Island (Plates 1 to 3). The production in 1974 were 14,310 metric tons of oyster meats and 7,696 metric tons of clams, respectively. These shellfishes have suffered high mortalities each year in April-May since 1969. The average death rate was about 40%, sometimes reaching as high as 70 to 80% (Plates 4 to 5). The loss was estimated to be NT\$100 million annually.

Several things have been suspected to be the causes of the mass mortalities, such as: (1) water pollution from rivers; (2) disease of the shellfishes; (3) sudden change of environmental factors, e. g., temperature or salinity; (4) overcrowding on the culture beds; (5) red tide; (6) pesticide pollution. etc. In order to determine the cause of these mass mortalities, the possible effects from water qualities, toxic substances, heavy metals and pesticides were studied. It was found that water pollution of the streams was the major cause of the large scale death of the shellfishes.

In Taiwan, oyster and clam are cultured in the estuaries of many streams, because there are very few bays along the coast of this Island (Fig. 1-1 and Fig. 2-1). There are many industrial plants, mostly paper mills, located upstream near the railroad (Fig. 2-2). Most of these plants discharge their wastes without prior treatment. Theoretically, the oyster and clam should be affected by the pollutants from the plants. But many people do not believe water pollution to be the cause of the mass mortalities of oyster and clam, because the plants discharge their wastes all year around, but the oyster and clam die only in April or May.

However, if we are familiar with the climate and river condition of Taiwan, we shall understand that water pollution is the most probable cause of the mass mortalities of oyster and clam. In southwest Taiwan, the rainy season is from May to October and the dry season is from November to April (Fig. 2-3). In the rainy season, the river is full of water (Plates 10 to 13). Therefore, the discharged industrial wastes may be diluted by river water, and the shellfishes cultured in the estuaries will not be harmed. In the dry season, the quantity of the river water is small (Plates 6 to 9) and the flow is very sluggish. Hence, most of the pollutants will not reach the estuaries, but settle on the river bed. At the beginning of the rainy season, i. e., April or May, the first heavy rain may bring the pollutants concentrated on the river bed down to the coastal areas and cause the oyster and clam to die.

Pu-Tzu River was selected as a model to study whether this postulation is true. Six sampling stations along the river, and 4 stations around the estuaries were set up (Fig. 2-2). From April 1974 through April 1975, 8 samplings were made to study the water qualities of the river: flow rate (Fig. 2-4), COD content (Fig. 2-6), dissolved oxygen (Fig. 2-7), pH (Fig. 2-8), color of water (Fig. 2-9), ammonia nitrogen (Fig. 2-10), basic anion and cation groups (Fig. 2-5 and Appendixs 2-1 to 2-8), and the dissolved oxygen in the pathway of the plant

wastes (Fig. 2-11). In addition, the dissolved oxygen in the rivers of the southwest area of Taiwan were also studied (Fig. 2-12). Based on these data, it was concluded that these rivers were heavily polluted by industrial wastes in the dry season, i. e., from October through April. Although the estuaries where the oyster and clam cultured were also polluted by industrial wastes in the dry season, the heaviest pollution occurred at the beginning of the rainy season.

In order to know whether the death of shellfishes is related to the toxic substance, the water samples from Pu-Tzu River and its estuaries were also bioassayed with common carp, guppies, and tilapia. It was found that: (1) On April 30, 1974, the water sampled either from the river or its estuary all contained high toxicities. Even when it was diluted to 4%, about half of the test fish died after 96 hr (Table 3-1). This explains the large scale death of shellfishes in the field on April 29-30, 1974. (2) From May 1974 through April 2, 1975, in spite of the high concentration of the test water (as high as 25%), almost no fish died after 96 hr (Tables 3-2 to 3-8). At this time also no death of shellfishes occurred in the culture area.

Sediments settled on the river bed near the industrial plants were sampled on April 1975, and prepared as suspended solution for bioassay. The results indicated that a 330 ppm sediment solution could kill all fishes within 30 min. Even if the sediment solution was diluted to 66 ppm, all test fishes died within several hours (Table 3-9). When oyster and clam were immersed in the 330 ppm sediment solution, almost all oyster and clam died after 72 hr. About half of the oyster were killed after 96 hr in a 66 ppm solution (Table 3-10). Restoration of the oyster to clean water after it had been immersed in the toxic sediment solution for several hours revived some of the oyster (Table 3-11). But the oyster which had been immersed for only 3 hr, still had a very high death rate. This may mean that, in the field, exposure of only a few hours to the toxic solution could be lethal to the shellfishes.

From May 1974 through March 1975, no mass mortalities of shellfishes were reported. The first heavy rain in 1975 fell on April 5, and large scale death of oyster and clam occurred on April 7-8, just as postulated.

Based on the water qualities, bioassay results and field surveys, the conclusion is the toxic substance(s) discharged from the industrial plants settled on the river bed during the dry season. When first heavy rain fell in the rainy season, the toxic substance(s) concentrated on the river bed were all brought to the estuaries, killing the oyster and clam. This is the cause of the mass mortalities of the shellfishes.

Since heavy metals and organochlorine pesticides are very toxic to human being, if the toxic substance that killed the shellfishes were either of them, eating of the survived shellfishes may be harmful to the consumer. Therefore, oyster were sampled once a month from March 1973 through March 1974 for heavy metals and organochlorine pesticides analyses. In April 1974, both dead and live oysters were sampled and analyzed. It was found that: (1) During the entire year, the mercury, lead, cadmium, copper, zinc, nickel, and arsenic contents in the oysters were all close to the ordinary levels (Fig. 4-1). (2) No aldrin, heptachlor and heptachlor epoxide were detected in the oysters, and only small amounts of DDT, BHC and dieldrin were present (Fig. 4-2). (3) The heavy metal or organochlorine pesticide contents in the oysters sampled in the "danger season" were not higher than in other seasons. (4) Neither the heavy metal nor the organochlorine pesticide contents showed any difference between live and dead oysters. (5) Although the sediment did contain organochlorine pesticides, but the concentration was not high enough to have acute toxicities to shellfishes. In view of the above results, it could be said that the heavy metals and organochlorine pesticides have no direct effects on the large scale death of the shellfish, and no heavy metal and organochlorine pesticide intoxication will be caused by eating the survived shellfishes.

第一篇 臺灣貝類養殖近況與大量死亡現象

I 臺灣貝類養殖近況

牡蠣在臺灣俗稱為蚵仔，它所含的營養成分，極為豐富。在動物性的食物中，牡蠣所含的營養價值，是最高的一種。臺灣養蚵的歷史頗久，已經有兩百多年的記載了。養殖牡蠣的種類，以長牡蠣 *Crassostrea gigas* 與真牡蠣 *Crassostrea laperousei* 為主⁽¹⁾，養殖地區，大多在西海岸的淺海或潮溝處，普通係乘機動塑膠筏至養蚵場，養殖方法，主要係用垂下式養蚵法 (plate 1)。其法為以塑膠索串穿舊的牡蠣殼，稱為母殼，一串繩索串有母殼五至十一個，蚵串之長度，大約在 1 公尺左右，長的有近於 1.5 公尺者。串有母殼的蚵串係固定於蚵架，置於海中，在年冬至翌年之春季產於海中之蚵苗即附於母殼 (plate 2)，而成長發育，大約七至八個月，即可收成。

文蛤 *Meretrix Lusoria* 在臺灣叫做蚶仔，或稱粉蟻。由砂洲等地採來如細砂大的幼苗，普通先在魚塭放養八、九個月，就成為種苗。種苗再養殖於沿岸含沙率 50~90% 每次乾潮時露出 1~2 小時之潮間帶。經一年半左右養殖，即成為上市的文蛤了。因為大型具有向深海移動的習性，所以養殖時四周常以尼龍網與竹椿圍起來，並常設有看守寮察看 (plate 3)，通常係待退潮後，步行或乘機動筏至養殖場管理或收成。

牡蠣生長餌料主要係靠植物性浮游生物，及部分動物性浮游生物⁽²⁾。有陸水流入的海岸地方，牡蠣的餌料能繼續受到補充，營養物質豐富，是養殖牡蠣的適當場所。因此，由牡蠣的餌料量及其他漁場條件來說，臺灣的西海岸遠較東海岸適宜養殖牡蠣。與養殖牡蠣類似，文蛤亦靠天然餌料而

Table 1-1. The change of shellfish culture area (hectare) in Taiwan.

Culture area	Oyster			Clam		
	1953	1963	1973	1953	1963	1973
新竹縣 Hsin-Chu Pref.	338	198	447	—	—	30
臺中縣 Tai-Chung Pref.	134	444	339	—	206	1,103
彰化縣 Chang-Hua Pref.	1,185	1,585	2,350	—	377	1,070
雲林縣 Yun-Lin Pref.	600	1,690	3,670	—	160	513
嘉義縣 Chia-I Pref.	850	1,963	1,844	—	220	1,166
臺南縣 Tai-Nan Pref.	729	745	325	—	68	237
臺南市 Tai-Nan City	555	372	74	—	3	3
高雄縣 Kao-Hsiung Pref.	520	550	480	5	115	—
高雄市 Kao-Hsiung City	419	125	6	55	200	5
Total	5,330	7,668	9,546	60	1,350	4,132

生，無需供以人工餌料。牡蠣與文蛤這一類的淺海養殖，不需要特別的餌料，只需要適當的管理與敵害的驅逐，是一種非常有前途的養殖漁業。

在二十多年前的1953年（民國42年），臺灣牡蠣養殖北起於新竹、臺中，南至臺南、高雄；其總養殖面積有5,330公頃。其時文蛤尚未大規模推廣，僅高雄縣、市有微量養殖。十年後之1963年，牡蠣養殖面積增至7,668公頃，文蛤則增至1,350公頃。到了1973年，牡蠣與文蛤在全省之養殖面積，已各達9,546及4,132公頃，年產量各為14,310及7,696公噸，生產價值共達新臺幣六億六千萬之巨⁽³⁾。由Table 1-1可見，臺灣貝類之養殖總面積，雖然年年增加，但是臺南、高雄一帶却是逐漸減少。到了1973年（民國62年）高雄、臺南一帶養殖貝類已經是微乎其微了。高雄、臺南一帶，貝類的養殖由興盛，而至沒落，主要是高雄一帶之大都市化、工業化、與環境污染等因素所致。由Fig. 1-1可知，目前臺灣貝類的養殖，幾乎只剩下嘉義以北的縣份才有了。其中以彰化、雲林、嘉義三縣最為重要。然而，最近連這幾個縣份養殖的貝類，似乎也漸漸面臨嚴重的威脅，那就是最近幾年所發生的牡蠣、文蛤大量異常死亡的現象。

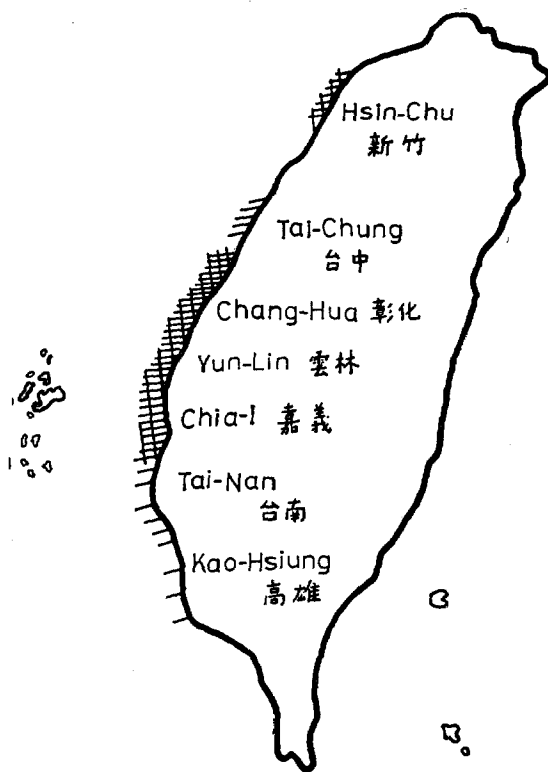


Fig. 1-1. Shellfish culture area in Taiwan (1974).

II 貝類大量死亡現象

在民國五十七、八年間，彰化、雲林、嘉義一帶的漁民們開始注意到四、五月間，他們所養殖的牡蠣、文蛤，會有大量死亡的現象發生。貝類在養殖過程中，因為敵害及其他因素，其收成不會達到百分之百，普通都會有或多或少零星的死亡。但是，從民國五十八年後，到今為止，每年都定期發生大量死亡的情形，損失率少者在 30~40%，高者達 60~70%，死亡的地區，則涵蓋彰化、雲林、嘉義一帶，每年損失的金額在新臺幣一億元之譜⁽⁴⁾，漁民所受的損失，不可謂不巨。

這項養殖貝類大量死亡現象，經漁民屢次反映，大眾傳播廣為報導，已引起許多人的注意。在民國六十二年暑期青年自強活動中，臺灣大學的漁業社，曾到雲林縣口湖鄉漁村服務一週，關於這項災害有詳細的報告⁽⁵⁾。除此之外，筆者等亦詳細訪問了漁家、漁會。綜合各方的報告，這項貝類大量死亡的現象，有下列幾項特徵：

(1)從民國五十八年以後，年年皆有死亡事件，但是每年的損失並不相同，有時損失率大，有時較少。

(2)幾乎都在四月、五月間，發生死亡的現象，雖然其他月份也有偶而死亡。

(3)貝類的死亡，大約發生在下大雨後二、三日，持續死亡一、二星期。在此期間，如貝類幸而不死，則可殘存。

(4)死亡的地區，以東石、口湖一帶死亡較多，布袋、鹿港等地，則死亡較少，同一地區似乎以靠近溪流和沙溝出口的棚架損失較重。

(5)牡蠣將死時，漁民看不出有任何徵象，死掉張開殼後才知道已死。文蛤則不再隱藏於沙中，跑到沙灘上，雙殼攤開而死 (plates 4, 5)。

關於這些淺海養殖的貝類「定期」發生大量暴斃的原因，有許許多多不同的猜測。其中包括有一、水質污染，二、疾病，三、赤潮來襲，四、養殖密度過高，五、環境因子激變等種種推測⁽⁴⁾。

最早的一種猜測，說貝類的死亡是由於「紅潮」，或「赤潮」所引起的，因為許多人發現當貝類死亡前，有一種絳紅色，異臭的潮水浸溢養殖區，貝類隨即死亡⁽⁵⁾。這種毒水來時，連大魚都漂浮而死，蟹也死掉，蚵也不例外。如果貝類之死亡確因赤潮 (Red tide)，則養殖場應該會有浮游生物異常繁殖現象。但是據調查，現場的植物性浮游生物並不多，所以有人推定赤潮並非致死原因⁽⁶⁾。

許多漁民說在二、三月河川上游的紙廠、化工廠放出廢水，四、五月蚵仔、文蛤就大量死亡。在民國五十八年左右，臺灣的工業有了加速的發展，工廠大量設立，或者增添設備，加速生產，所以工廠廢水最有關係。但是反對的人却說，工廠並非只在四、五月才排水，而是經年不斷，為何別的月份不死？所以他們推斷工廠廢水可能是原因之一，但並非是絕對的因素。

生物因疾病而死亡是常有的事。臺灣牡蠣是否因疾病死亡，尚無詳細的實驗報告。但是如果致死原因是為疾病，應該不會東石地區死的多，布袋地區死的少，因為兩地相差只有幾公里而已，而且死亡都在每年 4~5 月，且僅持續 1~2 週，疾病似乎不能說明此種現象。

另外有人提出貝類養殖過密，及環境突變，是其死亡之主因⁽⁷⁾。因為養殖過密，因此貝類在成長時，食物及氧氣均感不足，甚至有重疊而生活者，身體虛弱，在春夏之交，遇氣溫、水溫或鹽度驟然變化，就會導致大量死亡。但是何種密度最為適宜，所謂環境突變之根據為何，似乎皆缺少堅強的實驗證據足以證明此項推論。

為了預防及解決此等貝類之大量死亡，著者等乃自各方面詳加檢討，研究其可能致死之原因，經過許多現場之調查及實驗室之實驗，筆者等已經證明臺灣淺海養殖貝類大量死亡之主要原因，乃由於河川之水質污染所致，其詳細則如以下之報告。

III 本篇參考文獻

1. 黃丁郎 (1974)：臺灣之養殖漁業，臺灣銀行季刊25卷1期 218~225 頁。
2. 小笠原義先 (1968)：臺灣之牡蠣養殖現況及其展望，中國水產 187 期 2~8 頁。
3. 臺灣省農林廳漁業局 (1953, 1963, 1973)：中華民國臺灣地區漁業年報。
4. 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。7，15頁。
5. 六十二年度暑期青年自強活動：臺大口湖漁村服務隊報告書 28~29 頁。
6. 胡興華：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 11 頁。
7. 曾文陽 (1974)：貝類學會會誌 1 期 76~85 頁。

第二篇 臺灣西南部河川及其河口之水質化學

I 緒 言

臺灣西南地區，包括嘉義、雲林、彰化等地之養殖場係在許多條河川之河口處 (Fig 2-1) 其中有北港溪、朴子溪、八掌溪、及急水溪等。尤以死亡較嚴重之東石、臺子村附近一帶，在海岸外有一長形沙洲，名叫外傘頂洲圍著，其中有許多沙灘圍繞之海岔，因此，這個地帶稍似內灣，風浪較小。又因在河口，能接受來自河川的營養物質，自然形成較為良好的養殖場所。但是反過來說，此地因為在河口附近，水深僅在一公尺至二、三公尺之間，又有沙灘，因而如果河川受到污染的話，此地亦較其他廣闊的海岸地帶所受的影響為大。

事實上，此等河川上游，有許多工廠存在，包括有紙廠、糖廠、化工廠等，其中以紙廠的數目為最多。造紙廠製造一噸未漂白的紙漿，需水二百公噸，一噸漂白紙漿需水三五〇公噸⁽¹⁾。據成功大學調查，此等工廠廢水，幾乎沒有經過處理，即直接排入河川⁽²⁾，故河口受工業廢水污染的可能性至大。即牡蠣、文蛤在理論上，極可能會受到這些廢水的為害。

如上所述，許多人認為，工廠並非只在四、五月運轉，而是整年排水，所以工業廢水，可能對牡蠣、文蛤有影響，但並非絕對因素。然而，如果熟悉臺灣的氣候及河川的性質，即可祛除此項誤解。

臺灣各河流均以中央山脈為分水嶺，東西分流，歸入海洋。因為中央山脈高，離海岸近，所以河流的坡度甚陡，流程短而急。而且水量在不同季節之分配不均，逐年變異亦大⁽²⁾。例如西南部嘉南平原地區，雨水集中夏季，冬季常常乾旱。在雨季中，河流上游雨量特多，雨水甚為集中，再加上流路短促，中途又無湖泊加以蓄積，所以在五月至十月左右水量頗大。到了乾季的十一月至翌年四月，則雨量稀少，大多數河流迅即乾涸，僅看到涓涓細流或完全乾涸的河床。

工業廢水之是否污染河川與河流本身之流量、流速有極為重要的關係。如果河川水量足夠，則排入河川之廢水可被沖淡、稀釋，因此對水中生物之影響即較小。在嘉南地區，每年的五月至十月，因為雨量充足，河水盈滿，所以如果有工業廢水流入河川，應該易被沖淡。到了十月以後的乾旱季節，則因為河床乾涸，工業廢水即使排出，也得不到稀釋，且因河水流量甚小，很不容易流至河口出海，因而沉積於河床上。因此在乾旱季節，河川本身可能會受到重大的污染，但是污染物則不大會流至河口，而是逐漸地一個月一個月地沉積在河床。到了四、五月，當大雨來臨時，則以前數月至半年沉積於河床的污染物即一次被沖下河床，流至河口，如此，即對棲息於河口之生物造成重大災害。

由一年來許多現場之調查及實驗室之實驗，筆者已經證明上述推論確屬正確，本文即為水質化學之報告，河水及底土之生物檢定則見第三篇報告。

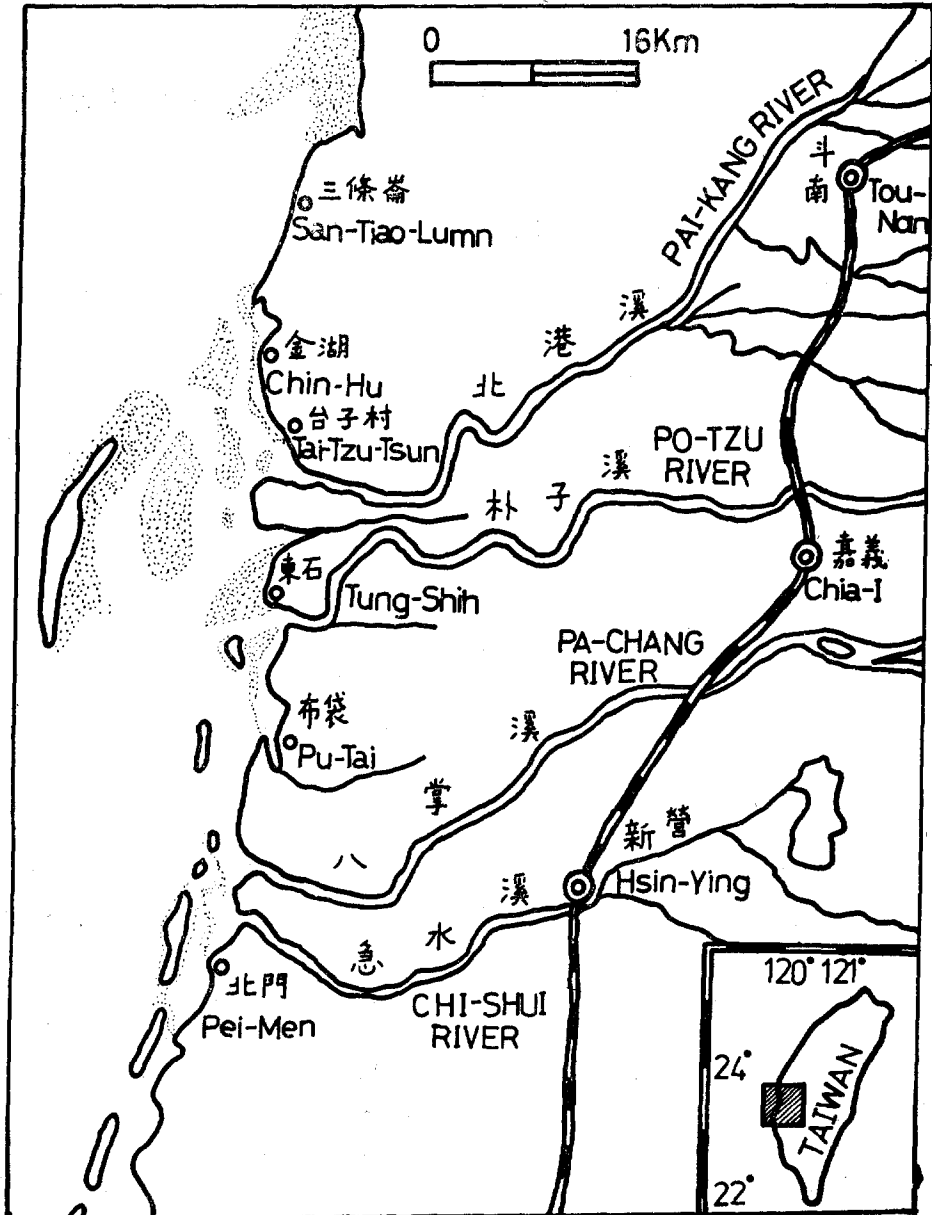


Fig. 2-1. Map showing southwest coastal area of Taiwan.

II 實驗方法

一、採樣地點：

因為淺海養殖貝類死亡最多之地區，為東石及口湖（臺子村）附近，所以水質化學之調查以朴子溪為主，其附近之溪流為輔。如 (Fig. 2-2) 所示，本實驗共在朴子溪河川選擇六個站 (St. 2, 3, 4, 5, 6, 7)，並在河口選擇四個站 (St. 1-1, 1-2, 1-3, 1-4)，做為採樣地點。

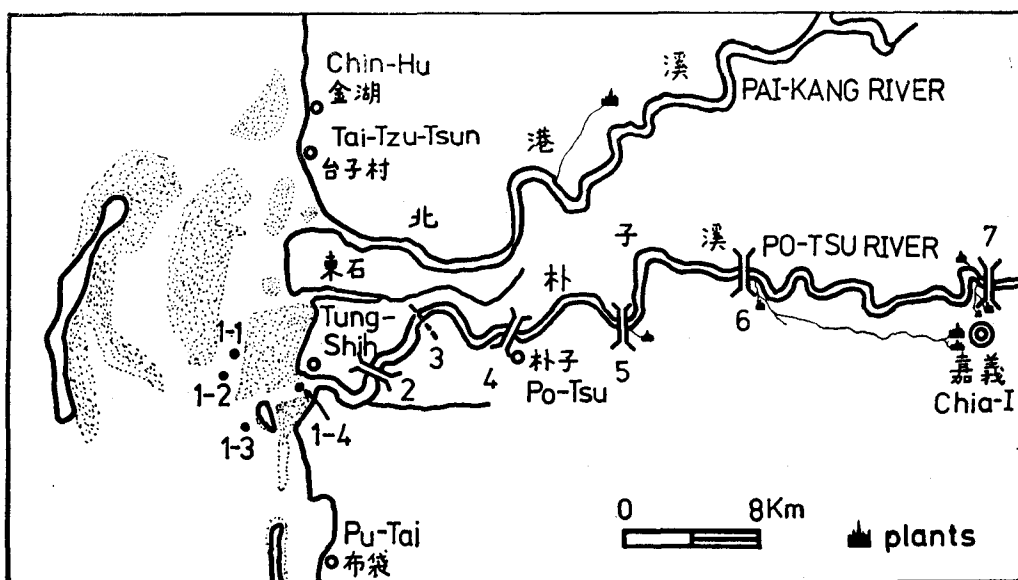


Fig. 2-2. Map showing sampling stations in Pu-Tzu River and its estuary.

St. 7, 牛稠溪橋站：由 Fig. 2-2 可知朴子溪兩旁之工廠幾乎皆在嘉義市以西，不受工廠廢水影響之河水係在牛稠溪橋以上。故此站可代表朴子溪原來之水質，離河口約 50 公里。

St. 6, 月眉潭橋站：由 St. 7 至此站間，有嘉義市之都市污水流入。除此之外，並有眾多工廠廢水排進。計有 C-F (代號)，C-K 三級紙廠二家 (註一)，C-T 四級紙廠一家，T-F，C-C 七級紙廠二家，及靠近月眉潭橋之化工廠一家。故 St. 6 可視為工廠廢水首先集中之處。

St. 5, 蒜頭糖廠橋站：此站係位於蒜頭糖廠旁，約在嘉義市與河口之中間，此站以下幾乎沒有工廠。

St. 4, 巖橋站 (朴子)：此橋下河床坡度稍大，水流較急。由河口進來之海水，即使在漲潮期間，亦不超過此橋。

St. 3, 下揖渡船站：位於下揖村旁，與 St. 2 相同，受海水漲潮、落潮之影響。

St. 2, 東石大橋站：由此橋以下，河水鹽度即激增。

St. 1-4, 東石漁港內。

St. 1-3, St. 1-2, St. 1-1, 皆在淺海養殖牡蠣場。採樣地點，係選擇一牡蠣架，在架上竹桿做記號，以後即固定至此處採樣。採樣地點在地圖上之確實位置，係採三標兩角法，以六分儀測定⁽⁴⁾。

註一：依造紙業公會之區分，工廠規模最大者為一級，依次而下，最小者為七級。三級紙廠之資本額約在新臺幣一千萬至二千萬元，四級者為數百萬元⁽⁵⁾。

二、採樣方法：

朴子溪之河水量並不豐富，在許多地方，其河水之水位，一年中有四、五個月只在 10 cm 以下；所以現場調查時，係直接自橋上或渡船上，用繩索垂下水桶，採取表層河水。東石附近之養殖場，水深一般皆在二、三公尺之間，故海水之採樣，主要以水桶採取表層海水。實驗後期亦以採水器採 1 m 深之海水，因牡蠣垂吊深度，大約為 1 m 至 1.5 m。

三、測定項目及分析方法：

(1)現場測定：

在現場直接分析之水質項目有：

- (a)氣溫：以棒狀溫度計 (1/10) 測定。
- (b)水溫：採水後，即刻以溫度計 (1/10) 入水桶測定。
- (c) pH：以 Analytical Measurements 公司 Model 707 B pH meter 測定。
- (d)溶解氧 (dissolved oxygen, DO)：以 Delta Scientific 公司之 DO meter 測定。
- (e)河水流速 (flow rate)：以 Aott Kempton 公司之 current meter No. 78850, type 10002, propeller No. 1-22208 式儀器測定。

(2)實驗室測定項目：

每次採水移入塑膠瓶後，即於當日携回南港實驗室，於當晚即刻測定：

- (a)化學需氧量 (chemical oxygen demand, COD)：以 $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ - KMnO_4 滴定法，在 100°C 水浴中加熱 15 分鐘。
- (b)胺態氮⁽⁵⁾ (ammonia nitrogen, $\text{NH}_4\text{-N}$)：以 direct Nesslerization Method 測定⁽⁶⁾。
- (c)水色 (color of water)：以過濾後試水，在 440 nm 下之透過率表示之。
為知試水之基本水質化學性質，在採水次日則測定下列項目⁽⁶⁾：
- (d)氯離子 (chloride, Cl)：以 Mohr 法測定之。
- (e)硫酸根離子 (sulfate, SO_4)：加 BaCl_2 行 Turbidimetric Method 測定之。
- (f)鹼度 (alkalinity)：加 methyl orange 以 Indicator Method 測定 total alkalinity。
- (g)矽土 (silica, SiO_2)：以 colorimetric molybdosilicate method 測定。
- (h)鈣 (Ca) 與鎂 (Mg)：以 EDTA titrimetric method 測定。
- (i)鈉 (Na) 與鉀 (K)：以 varian model 1000 atomic absorption spectrophotometer 測定。
- (j)過濾殘渣 (filtrable residue, Fil-Re) 及全殘渣 (total residue T-Re)：將過濾與未過濾之試水，以電爐灼熱乾燥後測定。

III 實驗結果

由 1974 年 3 月 26 日至 1975 年 4 月 2 日整整一年間，共進行了八次水質化學調查，其詳細結果如 Appendix 1 至 8 所示。整體概要則如下所述。

一、朴子溪水流之整年變化：

由中央氣象局之資料⁽⁷⁾ (Fig. 2-3)，可知如同往年，嘉義地區在 1973 年 10 月底左右，進入乾季，直至 1974 年 4 月，雨量皆寡。1974 年 4 月 28 日下過大雨後，即進入雨季，以迄於 1974 年 10 月左右，如此循環下去。

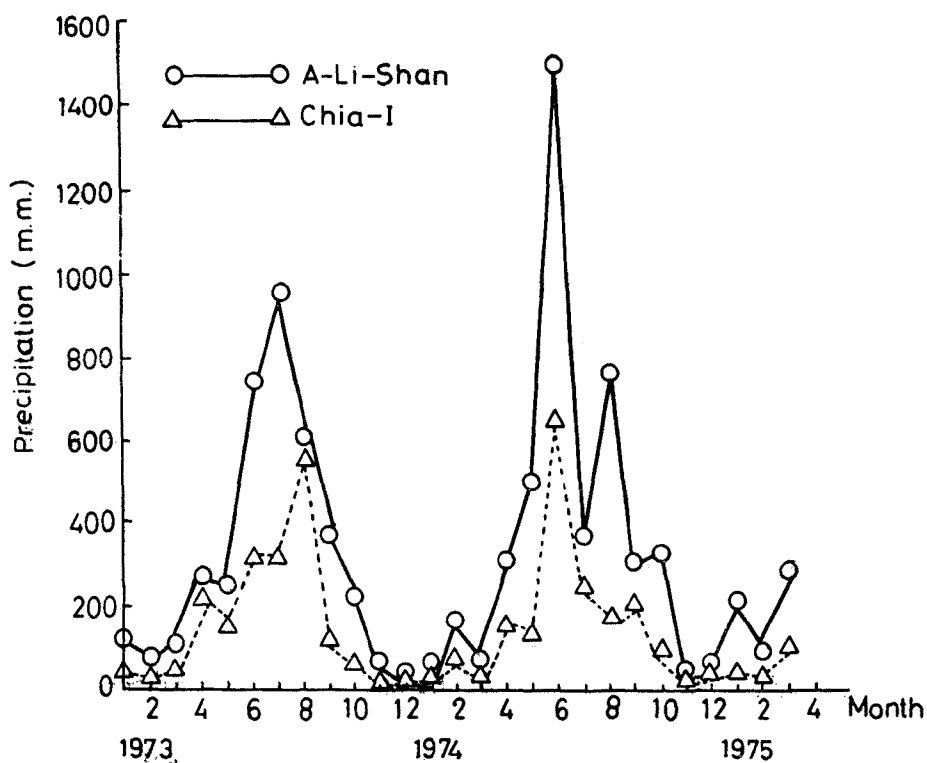


Fig. 2-3. Seasonal precipitation at A-Li-Shan and Chia-I.

為確知朴子溪河流水位之變化，乃直接測量 St. 6 月眉潭橋下之水位，其結果如 Table 2-1 所示。在乾季時，河水水位大略皆在 10 cm 以下，即河床幾乎全部乾涸，只有涓涓細流而已，在雨季則水位漲至 130 cm 左右。乾雨季之相差極大。

Table 2-1. Seasonal water levels (cm) of Pu-Tzu river at station 6 (Yueh-mei-tan bridge).

Month	Mar. 26 1974	May. 1 1974	Jun. 28 1974	Sep. 5 1974	Nov. 8 1974	Jan. 14 1975	Feb. 20 1975	Apr. 2 1975
Water level	5.5	25.9	59.7	134.1	20.5	0.2	3.7	0.2

由 Fig. 2-4 朴子溪河水流速之終年變化，可知在乾季，不但水量少，而且水幾乎是不流動。在九月，則河水流速頗快。

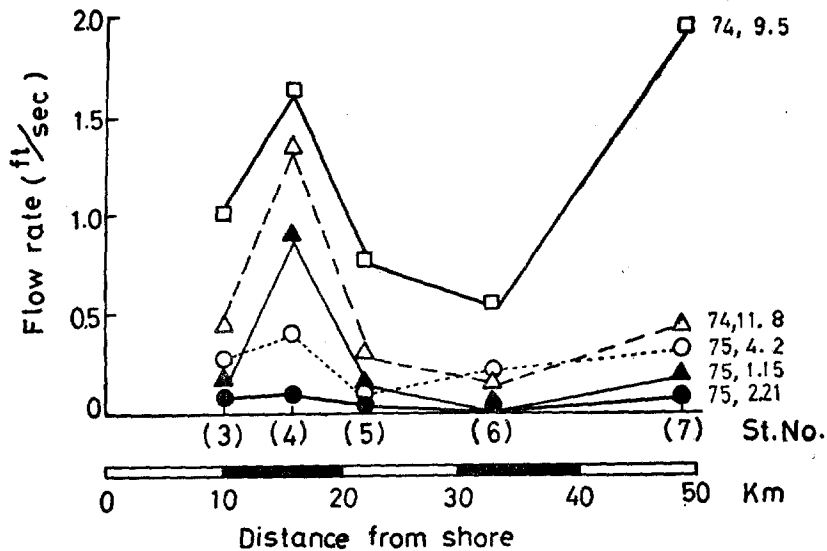


Fig. 2-4. Seasonal variation of flow rate in Pu-Tzu River.

由以上之結果，可知在嘉南地區，雨季中，水量既豐，流速亦快；但在乾季，則河床乾涸，水流幾乎停止。

二、朴子溪河水之原有水質：

朴子溪河水之原有水質，可以 St. 7 牛稠溪橋之終年水質來做代表，因為它少受工廠廢水、家庭污水之污染。在此橋下之河水，其溶解氧甚為充足，pH 亦大致適中 (Appendix 1-8)，水色清澈。其主要水質化學則如 Fig. 2-5 所示。由 Fig. 2-5 可知，朴子溪之河水，無論是主要陰離子 (Cl, SO₄)，主要陽離子 (Na, K, Ca, Mg)，或其他化學性質，皆與一般河川水沒有大差。

三、朴子溪河水 COD 之季節變化：

朴子溪河水受工業廢水之污染程度，可以 Fig. 2-6 河水 COD 之終年變化來表示之。由 Fig. 2-6 之結果，可知：一、在雨季中（如 1974 年 9 月 5 日），因河水量多，流速亦快，整條河流之 COD 皆甚低。二、在乾季中（如 1975 年 1 月 14 日），因河水乾涸，工廠廢水雖然照樣排出，但是因為得不到稀釋，即沉積於河床上；因此使 St. 6 工廠集中地河水之 COD 高達 700~800 ppm，又因為流量甚小，只有少量廢水流向下游，所以越近河口，COD 越低。三、在乾雨季交接期中，如 1974 年 4 月 30 日（4 月 28 日大雨），則越近河口 COD 越高。此乃數月來沈積河床之有機物在短期間被沖下之故。

四、朴子溪河水溶解氧量之季節變化：

朴子溪不同地點溶解氧量之季節變化，如 Fig. 2-7 所表示。在 1974 年 4 月 30 日，自工廠集中地 St. 6 以下，河水含氧量皆在 1~2 mg/l 間；即整條河流都不適於魚類生存。進入雨季之 5 月 20 日，愈近河口，溶解氧愈高，顯示含氧量已慢慢恢復，但是工廠附近之 St. 5 及 St. 6 則仍然無氧。

雨季後之 6 月，河水量增加很快，溶解氧量慢慢升高，到了 9 月 5 日時，工廠附近之溶解氧量

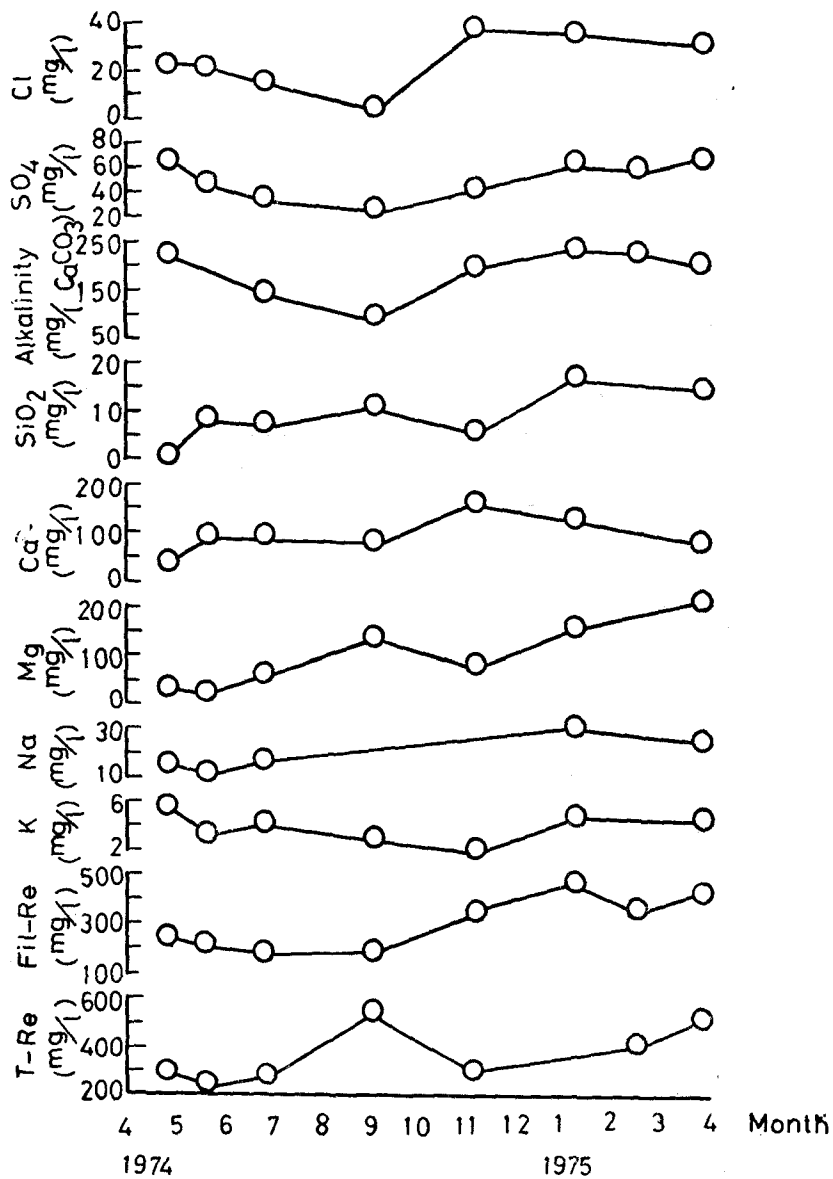


Fig. 2-5. The original water qualities of Pu-Tzu River (at station 7).

反而比河口高，此可能係因河水量豐，將有機物帶至下游，使下游之溶氧量下降。

乾季之 11 月至次年之年初，則河口溶解氧較高，工廠附近之河水，又缺乏溶解氧了。

五、朴子溪河水之 pH 變化：

朴子溪河水之 pH，除乾雨季交接之 1974 年 4 月 30 日以外，大致皆在 7 至 8.5 之間 (Fig. 2-8)

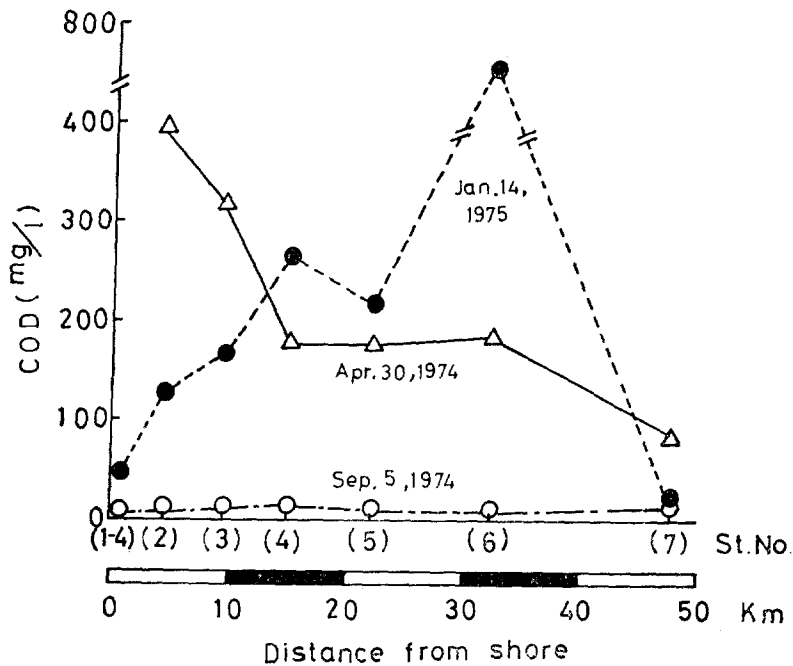


Fig. 2-6. Seasonal variation of COD in Pu-Tzu River.

。1974 4 月 30 日 pH 較高之理由，可能係河水沖下沉積河床之有機物所致。然而不管任何月份之水質，到了河口附近都被中和至 pH 8 左右。

六、朴子溪河水之水色：

除了在雨季以外，朴子溪河水自嘉義市以下，皆呈紅褐色以至黑色，此顏色係來自紙廠廢水。廢水剛從工廠出口時，係帶紅褐色，經過流路流向河流時，則漸漸變成黑咖啡色；至河口處，則因受海水稀釋，再帶紅色 (plate 14)。即使在貝類養殖場，如果遇到乾潮，仍然可以看得非常清楚。漁民們在貝類死亡現場所見之「絳紅色水」諒係此水。據報告紙廠廢水之有色成分，主要為 Lignin⁽⁶⁾，朴子溪河水帶色之本體可能即係此物。

為以數字表示顏色之深淺，乃測定各試水在 440 nm 分光光度計之透過率，如 Fig. 2-9 所示。在 1974 年 4 月 30 日，其顏色以下游 St. 3 為最濃。到了雨季，因河水量豐，帶來泥沙，所以河水之顏色係呈泥沙色，水色即較淡。然而到了乾季，(如 1975 年 1 月 14 日)，則整條河水大致皆呈紅褐色。

七、朴子溪河水之胺態氮：

朴子溪河水中胺態氮 ($\text{NH}_4\text{-N}$) 之全年變化，如 Fig. 2-10 所示，由此圖可知，除了 9 月間雨季外，從 St. 6 以下之站， $\text{NH}_4\text{-N}$ 沒超過 1 ppm 的很少。 $\text{NH}_4\text{-N}$ 係含氮有機物分解時所產生之物，常被當做細菌活動的指標之一。由此結果可知，朴子溪河水已經受到細菌某種程度之污染。

八、朴子溪河水其他水質之終年變化：

除上述性質外，朴子溪河水其他化學性質中，以 Cl, Na, K, 濾過殘渣及全殘渣之變化較大。在乾季中，此等物質之量大增。例如整年中朴子溪原來河水中 (St. 7) 之 Cl 在 40 ppm 以下，Na 在 10~30 ppm 之間，K 在 6 ppm 以下，濾過殘渣在 100~500 ppm，全殘渣在 200~600 ppm 之間。然而乾季末期之 1975 年 4 月 2 日，St. 6 月眉潭橋之 Cl 為 124 ppm，Na 為 70 ppm，

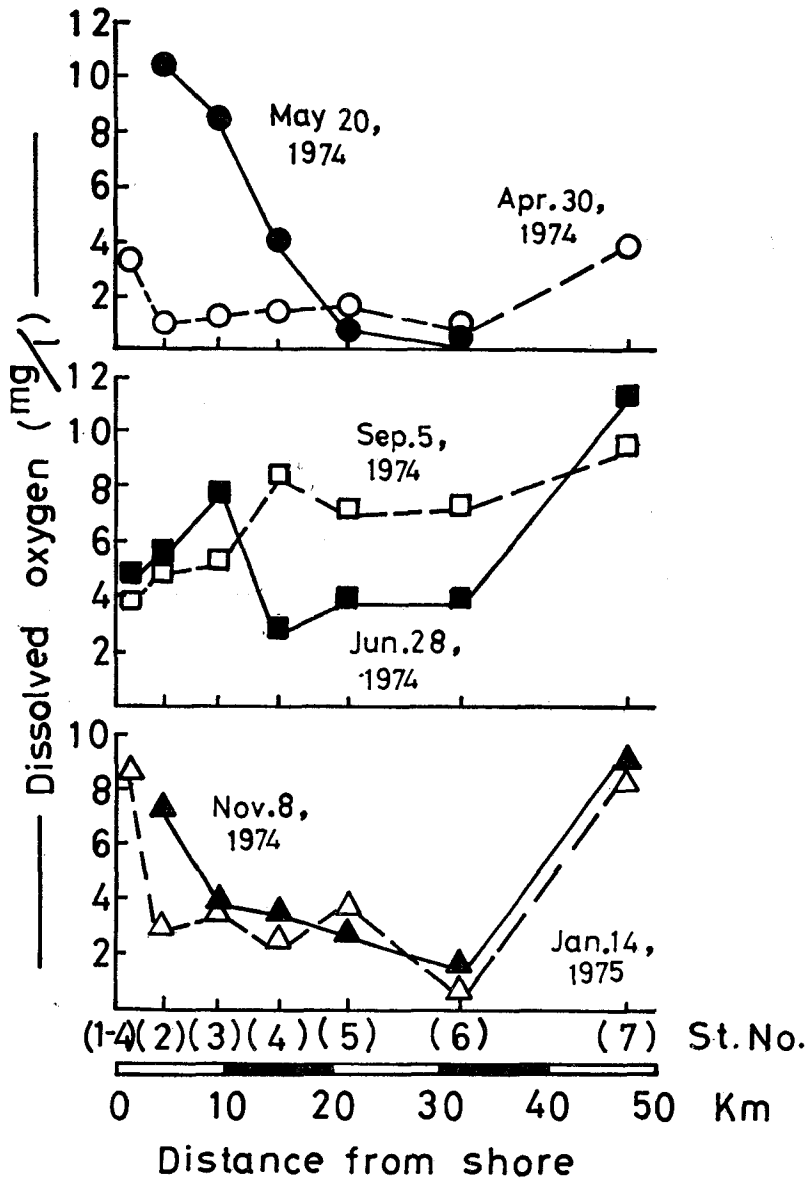


Fig. 2-7. Seasonal variation of dissolved oxygen in Pu-Tzu River.

K 為 14.5 ppm，濾過殘渣為 706 ppm，全殘渣為 798 ppm，超過正常河水甚多。在雨季中，則與原來河水性質相差不大。

九、朴子溪河口之水質化學：

朴子溪河口之詳細水質化學性質如 Appendix 1 至 8 所示。因採樣地點有限，未能了解廣大河

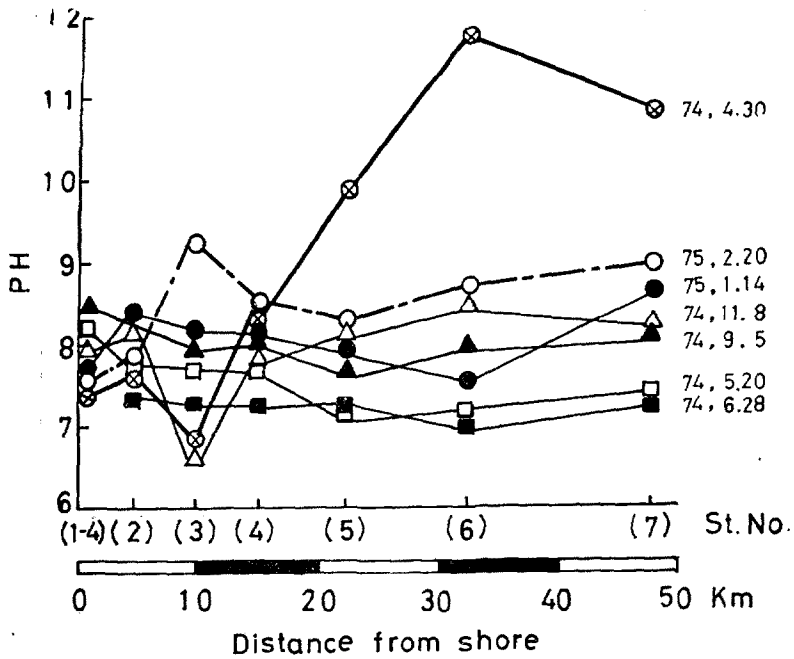


Fig. 2-8. Seasonal variation of pH in Pu-Tzu River.

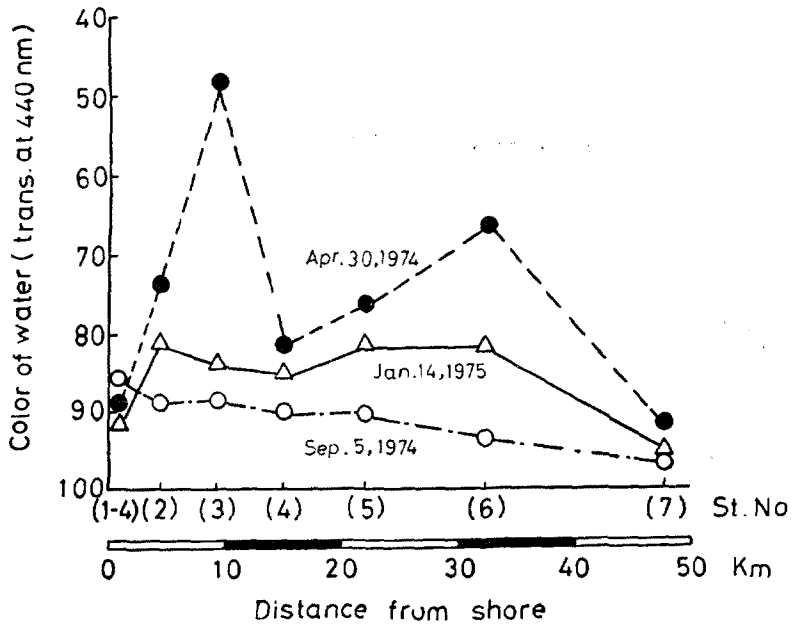


Fig. 2-9. Seasonal variation of color of water in Pu-Tzu River.

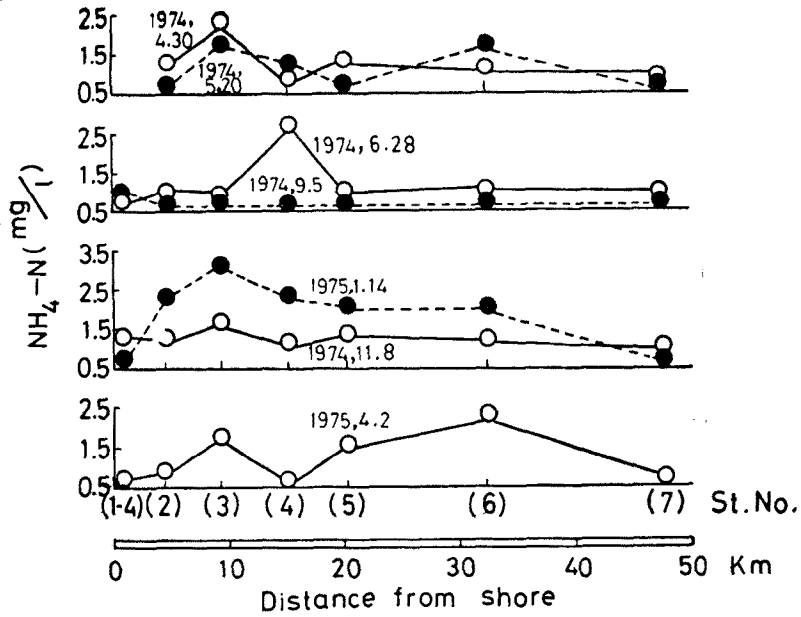


Fig. 2-10. Seasonal variation of ammonia nitrogen in Pu-Tzu River.

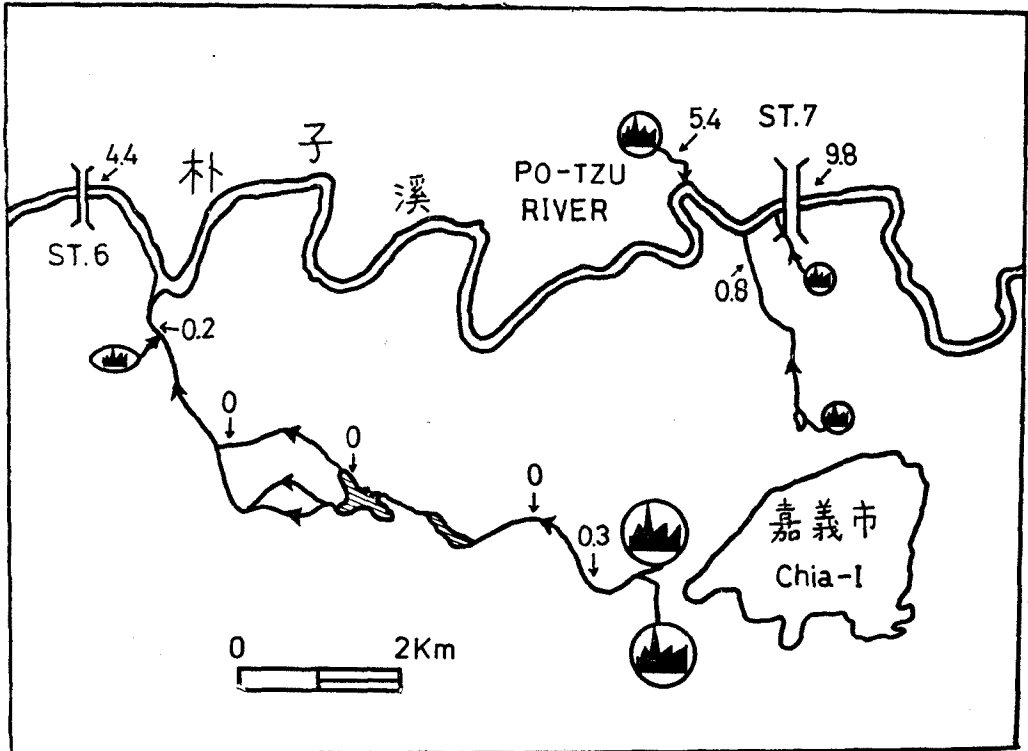


Fig. 2-11. Pathway of plant wastes to Pu-Tzu River and dissolved oxygen (ppm) measured on Apr. 1, 1974.

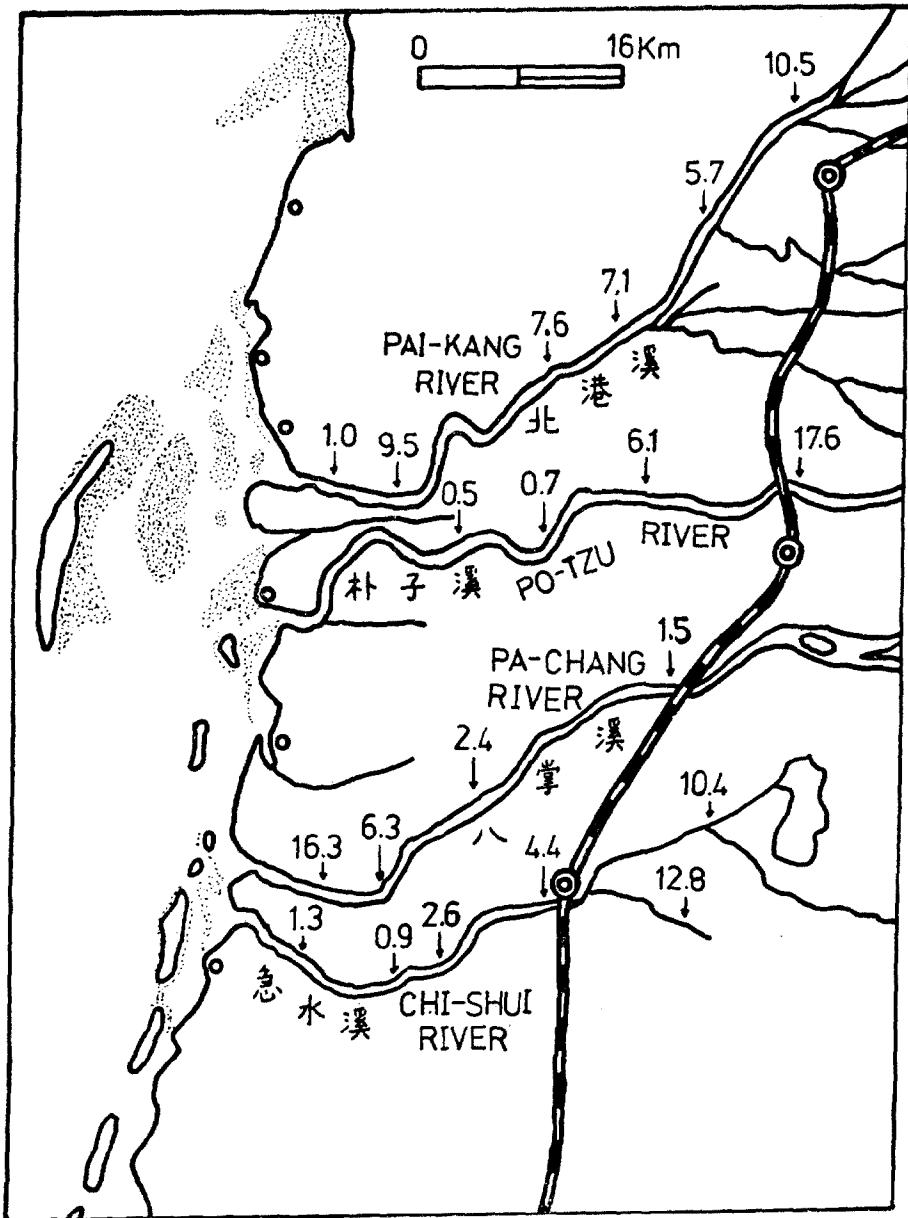


Fig. 2-12. Dissolved oxygen (ppm) in rivers of southwest area of Taiwan.

口區域之全般情形，但段納結果，有以下趨勢：

(1) 在乾季時，河口之 COD 似乎較雨季為高，溶解氧則較低。此種現象，以東石漁港內 (St. 1-4) 較為顯著，淺海養殖場，則不易看出。例如 1974 年 4 月 28 日下過大雨，4 月 30 日測定水質時，朴子溪之河川水溶氧皆在 1 ppm 左右，但到東石漁港即恢復成 3.6 ppm，淺海養殖場 St. 1-1 及 St. 1-2 之溶氧則為 7.4 及 8.2 ppm。此可能在河口，因有海水沖淡，使其 DO 恢復較快。淺海養殖場之溶氧變化最大時，可能係在河水急驅而下之當日及次日左右。

(2) 河口海水整年的 pH 沒有太大的變化，此可能係因為海水具有很大的緩衝力之故。

(3) 淺海養殖場之 $\text{NH}_4\text{-N}$ ，終年幾乎皆在 1 ppm 以下。

(4) 至少就 1975 年 1 月 14 日至 4 月 2 日間，在淺海養殖場 (St. 1-1, 1-2, 1-3, 1-4) 無論是低潮或高潮，表面水或 1 公尺深水間，其水深，溶解氧，pH，COD， $\text{NH}_4\text{-N}$ ，皆無顯著之差異。

十、朴子溪上游工廠廢水之流路與溶氧量：

由上述結果，可知朴子溪水質已經受到相當程度的污染，為知其來源，乃詳細調查工廠廢水之排水路，如 Fig. 2-11 所示。由廢液之顏色及臭氣，可以推測此等廢水可能沒有經過任何處理，即排出工廠。更加嚴重的是有許多工廠之廢水並未直接進入河川，而是蜿蜒拾數公里，流經小溝，沉於埤潭，流入稻田 (plates 15 至 18)。所以在乾季，此等工廠之廢水即沉於流路，河床，其色深褐，常帶有泡沫，及臭味。經測定溶解氧，其結果如 Fig. 2-11 所示。由該圖可知，工廠廢水所經之處，水中氧氣幾無，自然也沒有任何魚貝存在。

十一、朴子溪及其附近河流溶氧量之比較：

朴子溪雖然已受嚴重之污染，但其附近之河川則如何呢？在同一天中 (1975 年 4 月 1 日)，各河川溶解氧之數值如 Fig. 2-12 所示。由此圖可知，各河川在縱貫線鐵路以東，沒受到污染的河水，其含氧量皆高。但是一般來說，越往下游，則溶氧愈少。北港溪、朴子溪、八掌溪、急水溪四條溪流中，僅八掌溪之污染稍微輕一些。也只有八掌溪的下游，終年有魚可獲。其他三條溪，除雨季短暫的一、二個月外，皆無魚可捕。如以溶解氧做為指標來看，整個雲、嘉、南地區之河川，皆已受到嚴重污染。

IV 討 論

由以上水質化學分析之結果，臺灣淺海養殖貝類大量死亡的許多現象都可以得到合理的解釋：

1. 為何貝類會「定期」在四、五月，大雨過後死亡，乃因四、五月為嘉南地區，乾季與雨季交接之期。於乾季中，沉積於河床之污染物，經初次大雨一次沖下時，即為貝類大量死亡時期。

2. 為何每年貝類死亡率不同，乃由於每年氣象狀況不一。如果該年二、三月的雨量越小，而在四、五月初次大雨之雨量越大，則死亡率愈多。因為乾旱越久，則工廠廢水沉積在河床之量愈多；每年春季初次大雨越大，則沖下沉積物越多。民國 61 年 5 月初貝類之死亡，為歷年來最高之一次，在該年嘉義從 3 月 29 日至 4 月日，僅有 3 日下雨，雨量為 12.1 mm；而在 4 月 30 日突下豪雨 140.8 mm，5 月 1 日下 29.0 mm。乾雨相差至大，貝類之死亡率即相當地高。民國 62 年貝類之死亡並不太大，該年從一月起即平均有雨，而 3 月之雨量為 38.4 mm，4 月均有雨，雨量為 147.2 mm，乾雨相差不大，因此在河口之貝類雖然會死亡，但死亡比率即告降低。

3. 貝類死亡僅持續一、二星期，其理由乃為累積於河川之污染物，經河水一次沖下，一、二星期後污染物之量即因海水沖淡，逐漸減少，幸而不死者乃能殘存。

4. 東石、湖口一帶貝類死亡率所以較高之故，乃因其地處在朴子溪，北港溪之交會處，而該二河流之污染程度頗大，所以死亡率較高。布袋死亡率不高之故，乃因八掌溪之河口不如朴子溪之污染嚴重。三條崙死亡較少之因，可能係其離北港溪較遠。

5. 貝類死亡前養殖場所見之絳紅色帶有異臭潮水，極可能即係河川廢水所帶來 lignin 之色，因其色紅，故會被疑成紅潮。

然而此等水質污染，如何使貝類死亡，是因污染之有機物奪去河口水域中之氧氣，使貝類無氧而死；或者是污水中含有毒物，使其直接致死，則需以其他實驗證明。由生物檢定等實驗，筆者已證明污水中之有毒物質為貝類致死之主因，詳細則見第三篇。

此項水質分析，除說明貝類死亡之原因外，尚發現許多問題值得我們注意。日本水產用水基準⁽⁹⁾之規定，在水域中 DO 無論何時應該皆在 3 ppm 以上，24 小時中必需有 16 小時在 5 ppm

以上；胺態氮需在 1.0 ppm 以下；水產用水不能帶有顏色，等種種準則。朴子溪及其附近溪流之水質除雨季的一、二月外幾乎沒有一項合乎標準。所以，很自然的，這些河川中極難見到魚貝類之踪跡。這些河水做為水產養殖用水都不可得，更遑論以其做為飲用水等水準較高之用途。雖然這些河水污染程度頗高，但是因為臺灣水資源不足的緣故，農民仍然以污濁河水灌溉田地，它對農田作物之影響如何呢？是否使其生長不良，是否會使作物含有毒物？皆有待詳細之研究。

在漁業上，此等水質污染除使使牡蠣驟然暴斃外，稍輕之污染則可能使其成長不良。在污染之水域中，牡蠣會緊閉其殼，水質越劣，閉殼期間越長，因此牡蠣汲水速率降低，而影響其生殖、生長。臺灣中南部許多養殖魚塢，常有因水質不良而發生養殖魚類大量暴斃事例，其原因雖有待究明，但由以上實驗推測，工業廢水可能是很重要的一項因素。除此以外，臺灣西南地區之河川既已受到如此嚴重污染，當其流向沿岸時，除養殖貝類外，是否對其他生物，例如蝦類、魚類等之生理、生長發生危害？是否會使洄游經臺灣沿海之魚類迴避，而影響臺灣之沿岸，近海漁業？這些都值得將來繼續研究。在加速發展工業途徑中，如何確實保護環境，是一件非常值得我們重視，必須立即採取步驟的要務。

V 摘 要

為研討臺灣淺海養殖貝類在每年四、五月大量死亡原因，乃詳細分析朴子溪及其附近河川之水質化學。從 1974 年 3 月至 1975 年 4 月，以朴子溪及其河口為主，共進行了八次水質化學調查。由實驗結果得知下列事實：

1. 在雲林、嘉義、臺南地區，每年從十一月左右，以迄次年四、五月，俱屬乾季，在此期間，溪流之河床乾涸，水流幾乎停止；從四、五月至十月底為雨季，河水豐富，水流亦快。在河川之兩旁，有許多工廠排出大量廢水，然而廢水對河川之污染程度受河水之流量，流速密切的影響。
2. 在雨季之六月至十月，因工業廢水得到河水之稀釋，所以河川水之化學需氧量較低，溶氧較高，水質污濁程度較微。
3. 在乾季之十一月至次年四、五月，則工廠排出之廢水得不到河水之稀釋，因此不易流至河口，而大量沉積於河床上。是故工廠附近之河川水質極為污濁；但河口附近之水域則因流來之廢水量少，污染程度不重。
4. 在乾季與雨季交接之四、五月，初次大雨即將乾季中長期累積於河床之污染物，一次沖至河口，使溶解氧大降，化學需氧量增高，水色變為紅褐，因此對河口生物造成嚴重傷害。
5. 臺灣淺海養殖貝類大量斃死之主因，乃因河川水質污染所致，使貝類致死者乃為污染物中之有毒物質，詳見第三篇報告。
6. 朴子溪及其附近許多河川水質之污染程度已相當嚴重，非但不能做為飲水來源，亦不能做為水產用水。

VI 本篇參考文獻

1. 蔡國鈞 (1971)：臺灣省紙漿廢水處理法之研究。成功大學土木系衛生試驗室研究報告第一號。3, 111 頁。
2. 林芳明 (1974)：臺灣的氣候與灌溉。科學月刊，63 年 11 月號。30-36 頁。
3. 臺北市銀行 (1972)：臺灣區造紙工業調查報告。32 頁。
4. 松江吉行 (1965)：水質污濁調查指針，p. 68，恒星社厚生閣刊（日本、東京）。
5. 同上，p. 130。
6. Delta Scientific Corp. (1971)：Procedure manual, delta scientific model 260 water analyzer. New, York.
7. 中央氣象局 (1973-1975)：農業氣象旬報，第二十卷至二十二卷。
8. 松江吉行 (1965)：水質污濁調查指針。p. 7，恒星社厚生閣（日本、東京）。
9. 新田忠雄 (1969)：水質保護論。p. 219，恒星社厚生閣版（日本、東京）。

Appendix-1. The water qualities of Pu-Tzu River and its estuary on April 30, 1974.

Station	Sea water			River water					
	1-1	1-2	1-4	2	3	4	5	6	7
Time of Sampling	15°30'	15°40'	16°30'	17°07'	15°30'	11°55'	14°00'	14°50'	15°30'
Air temp (°C)	26.0	26.0	26.0	26.0	28.5	25.0	26.0	26.0	26.0
Water temp. (°C)	26.5	26.2	28.0	29.0	30.0	29.2	30.5	30.0	28.0
pH	5.9	7.0	7.3	7.6	6.7	8.3	9.9	11.8	10.9
DO (mg/l)	7.4	8.2	3.6	0.4	1.1	1.2	1.2	0.3	3.6
COD (mg/l)	—	—	—	396	320	180	180	190	90
NH ₄ -N (mg/l)	—	—	—	1.20	2.30	0.90	1.33	1.16	0.60
Color (Trans. at 440 nm)	91.5	94.3	88.0	73.5	48.0	81.0	76.0	66.2	91.5
Cl (mg/l)	18,200	18,300	8,260	1,040	142	53	71	98	22
SO ₄ (mg/l)	2,750	3,974	2,750	200	59	62	63	60	66
Alkalinity (mg/l CaCO ₃)	110	120	170	340	330	240	260	180	220
SiO ₂ (mg/l)	0.12	0.09	40.0	10.00	4.65	1.90	3.65	2.50	0.65
Ca (mg/l)	—	—	—	75	50	40	50	40	40
Mg (mg/l)	—	—	—	335	170	85	90	75	35
Na (mg/l)	—	—	—	710	115	45	25	85	15
K (mg/l)	—	—	—	55.0	28.0	10.0	8.8	21.0	5.4
Filtrable residue (mg/l)	—	—	—	1,523	588	342	426	402	238
Total residue (mg/l)	—	—	—	1,628	552	936	696	520	270

Appendix-2. The water qualities of Pu-Tzu River and its estuary on May 9, 1974.

Station	Sea water	River water					
	1-1	2	3	4	5	6	7
Time of Sampling	13°52'	15°35'	14°50'	14°27'	13°35'	11°45'	10°50'
Air temp. (°C)	30.0	27.5	30.0	30.0	31.0	30.0	32.0
Water temp. (°C)	32.0	31.0	30.0	30.0	42.0	25.0	27.0
pH	—	7.9	7.7	7.8	7.2	7.1	7.4
DO (mg/l)	—	10.2	8.3	3.9	0.8	0.1	—
COD (mg/l)	9.7	12.6	17.8	15.6	13.9	172.8	5.6
NH ₄ -N (mg/l)	<0.25	0.30	1.90	1.10	0.60	1.60	0.30
Cl (mg/l)	18,600	11,000	3,850	220	36	206	21
SO ₄ (mg/l)	2,300	890	690	57	13	92	44
SiO ₂ (mg/l)	< 1.0	2.9	9.0	14.0	15.0	20.0	8.3
Ca (mg/l)	—	47	330	25	100	60	95
Mg (mg/l)	—	83	1,680	140	45	105	20
Na (mg/l)	—	9,075	7,260	205	50	105	10
K (mg/l)	—	1,029.0	847.0	36.0	13.9	10.9	3.2
Filtrable residue (mg/l)	—	294	350	272	362	702	204
Total residue (mg/l)	—	362	350	386	388	894	218

Appendix-3. The water qualities of Pu-Tzu River and its estuary on June 28, 1974.

Station	Sea water			River water					
	1-1	1-2	1-3	2	3	4	5	6	7
Time of Sampling	10°55'	11°7'	12°0'	11°0'	10°18'	9°55'	9°36'	9°10'	9°25'
Air temp. (°C)	30.0	30.0	29.0	29.2	26.2	26.0	25.8	25.5	23.4
Water temp. (°C)	31.0	31.0	31.3	30.1	30.3	28.9	28.5	28.0	27.0
pH	7.7	7.8	8.1	7.3	7.3	7.2	7.2	7.0	7.5
DO (mg/l)	6.4	6.4	4.2	5.2	6.8	2.4	4.0	3.8	10.6
COD (mg/l)	6.3	6.4	21.5	12.7	12.7	39.2	22.2	21.5	7.4
NH ₄ -N (mg/l)	1.86	0.40	0.20	0.86	0.25	2.65	0.62	0.62	0.25
Color (Trans. at 440 nm)	98.0	95.0	91.5	93.5	92.0	71.0	89.0	95.0	92.0
Cl (mg/l)	13,670	15,090	533	36	36	18	39	25	14
SO ₄ (mg/l)	1,750	1,550	75	50	41	42	41	36	34
Alkalinity (mg/l CaCO ₃)	105	110	150	150	155	120	215	165	145
SiO ₂ (mg/l)	1.6	2.4	7.5	7.6	7.8	8.0	7.0	8.2	7.2
Ca (mg/l)	—	—	—	25	130	55	125	90	90
Mg (mg/l)	—	—	—	200	160	125	60	85	60
Na (mg/l)	—	—	—	35	15	18	20	110	15
K (mg/l)	—	—	—	7.5	6.4	8.0	6.8	14.5	4.0
Filtrable residue (mg/l)	—	—	—	22,842	11,242	866	500	308	184
Total residue (mg/l)	—	—	—	21,676	11,214	1,010	548	380	268

Appendix-4. The water qualities of Pu-Tzu River and its estuary on Sep. 5, 1974.

Station	Sea water				River water					
	1-1	1-2	1-3	1-4	2	3	4	5	6	7
Time of Sampling	9°50'	9°30'	8°50'	8°20'	11°32'	10°30'	9°47'	9°10'	8°30'	7°5'
Air temp. (°C)	26.0	26.0	26.0	27.0	31.0	31.5	29.0	30.0	28.5	26.5
Water temp. (°C)	27.8	27.5	28.0	26.2	28.1	28.0	27.0	29.0	27.5	25.5
pH	7.8	7.8	7.6	8.4	4.0	8.0	7.9	7.8	8.0	8.3
DO (mg/l)	8.4	7.9	5.8	4.0	4.6	5.0	8.0	6.8	7.0	9.2
COD (mg/l)	4.2	6.3	12.3	8.1	7.3	12.1	17.0	10.5	6.5	8.1
NH ₄ -N (mg/l)	<0.25	<0.25	0.28	0.25	0.46	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25
Color (Trans. at 440 nm)	97.0	97.0	81.7	86.5	88.5	87.8	90.0	90.0	93.0	96.6
Cl (mg/l)	12,692	12,348	2,929	110	18	11	11	7	11	4
SO ₄ (mg/l)	1,550	2,050	300	40	20	20	25	30	30	25
Alkalinity (mg/l)	105	105	95	95	60	60	65	85	75	95
SiO ₂ (mg/l)	2.8	4.1	9.1	9.2	8.8	6.8	10.5	8.0	11.4	11.6
Ca (mg/l)	—	—	—	—	55	55	55	35	23	75
Mg (mg/l)	—	—	—	—	55	5	25	55	72	130
Na (mg/l)	—	—	—	—	<20	<20	<20	<20	<20	<20
K (mg/l)	—	—	—	—	4.4	3.4	3.6	3.8	3.8	2.9
Filtrable residue (mg/l)	—	—	—	—	228	360	250	232	196	188
Total residue (mg/l)	—	—	—	—	778	916	2,566	972	1,340	546

Appendix-5. The water qualities of Pu-Tzu River and its estuary on Nov. 8, 1974.

Station	Sea water			River wrate					
	1-1	1-2	1-4	2	3	4	5	6	7
Time of Sampling	10°10'	11°0'	11°50'	11°18'	10°40'	10°4'	9°35'	8°56'	7°31'
Air temp. (°C)	—	—	—	27.7	28.0	28.3	29.0	29.0	28.0
Water temp. (°C)	—	—	—	26.0	26.0	25.0	25.5	26.0	25.0
pH	7.0	7.1	7.9	8.2	7.9	8.3	8.6	8.5	8.7
DO (mg/l)	—	—	—	7.0	3.5	3.2	2.7	1.1	9.6
COD (mg/l)	8.2	8.6	47.0	38.5	33.5	44.1	48.3	180.0	12.1
NH ₄ -N (mg/l)	1.10	1.05	1.35	1.30	1.65	1.23	1.33	1.33	0.50
Color (Trans. at 440 nm)	98.2	97.5	90.6	89.6	89.2	89.3	89.2	71.5	97.1
Cl (mg/l)	16,218	14,910	2,400	185	60	53	46	46	39
SO ₄ (mg/l)	2,300	3,400	176	68	50	50	50	52	42
Alkalinity (mg/l CaCO ₃)	115	125	245	265	220	230	230	230	190
SiO ₂ (mg/l)	2.2	3.0	9.3	13.4	10.8	8.4	8.4	15.2	6.0
Ca (mg/l)	—	—	—	170	175	175	180	170	165
Mg (mg/l)	—	—	—	200	195	105	10	90	80
Na (mg/l)	—	—	—	105	35	25	520	30	<20
K (mg/l)	—	—	—	11.0	6.0	5.0	4.4	4.5	2.3
Filtrable residue (mg/l)	—	—	—	696	472	434	432	438	348
Total residue (mg/l)	—	—	—	764	508	486	454	466	298

Appendix-6. The water qualities of Pa-Tzu River and its estuary on Jan. 14, 1975.

(a) River water

Station	2	3	4	5	6	7
Time of sampling	11°0'	10°20'	9°55'	9°10'	12°24'	8°0'
Air temp. (°C)	21.0	20.2	19.8	20.0	—	19.0
Water temp. (°C)	18.8	19.0	19.8	19.8	—	19.0
pH	8.2	8.1	8.2	8.3	7.6	8.6
DO (mg/l)	2.9	3.5	2.1	3.5	< 0.5	8.0
COD (mg/l)	131.3	168.8	271.9	225.0	787.5	17.5
NH ₄ -N (mg/l)	2.3	3.2	2.4	2.0	2.0	0.5
Color (Trans. at 440 nm)	81.0	84.0	85.0	81.5	81.5	97.0
Cl (mg/l)	1,884	188	74	74	60	37
SO ₄ (mg/l)	248	86	86	83	92	65
Alkalinity (mg/l CaCO ₃)	290	360	385	335	340	235
SiO ₂ (mg/l)	22.4	31.2	37.2	44.0	43.2	17.2
Ca (mg/l)	240	245	100	265	250	130
Mg (mg/l)	970	340	25	325	350	158
Na (mg/l)	1,200	140	76	120	79	30
K (mg/l)	820	8.9	14.0	8.0	14.0	4.6
Filtrable residue (mg/l)	4,092	944	716	790	814	470
Total residue (mg/l)	4,266	952	808	894	852	2,476

(b) Sea water

Station	Depth (m)	Low tide				High tide			
		1-1	1-2	1-3	1-4	1-1	1-2	1-3	1-4
Time of sampling		9°45'	16°45'	8°55'	17°45'	16°20'	10°25'	15°30'	13°2'
Air temp. (°C)		16.5	17.5	16.0	17.0	17.0	17.5	17.8	17.5
Water temp. (°C)	0	16.2	17.1	17.0	16.5	17.0	16.8	18.4	19.0
	1	16.5	17.0	16.4	16.5	17.0	16.8	17.4	18.5
pH	0	7.6	7.9	7.5	7.8	7.8	7.7	7.8	7.8
	1	7.9	7.9	7.5	8.0	7.7	7.7	7.8	7.8
DO (mg/l)	0	9.3	9.2	8.4	8.8	9.0	7.7	9.3	8.4
	1	8.9	9.2	9.0	8.3	9.4	9.0	9.0	8.3
COD (mg/l)	0	15.2	19.6	21.4	33.8	15.9	10.0	15.4	33.8
	1	12.6	18.4	19.1	36.0	20.1	13.3	17.1	36.0
NH ₄ -N (mg/l)	0	<0.25	<0.25	<0.25	0.80	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25
	1	<0.25	<0.25	<0.25	0.87	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25
Color (Trans. at 440 nm)	0	84.0	95.0	98.0	91.0	92.0	93.0	97.0	94.0
	1	92.0	92.0	97.5	96.0	96.5	96.0	97.5	99.0
Cl (‰)	0	17.3	17.7	17.5	13.6	17.2	17.5	17.3	16.6
	1	17.6	17.6	17.9	13.9	17.4	17.0	17.6	18.9
SO ₄ (‰)	0	2.65	2.72	2.80	1.85	2.65	2.60	2.65	2.20
	1	2.72	2.65	2.90	1.85	2.65	2.72	2.65	2.60
Alkalinity (mg/l CaCO ₃)	0	120	115	165	170	110	110	110	140
	1	120	115	110	150	115	110	110	65
SiO ₂ (mg/l)	0	1.5	1.0	1.0	6.9	1.6	1.1	<1.0	4.3
	1	1.2	<1.0	<1.0	6.6	1.4	<1.0	<1.0	1.4

Appendix-7. The water qualities of Pu-Tzu River and its estuary on Feb. 20, 1975.

(a) River water

Station	2	3	4	5	6	7
Time of sampling	11°20'	10°50'	10°20'	9°53'	9°5'	8°25'
Air temp. (°C)	17.8	19.0	19.5	17.4	15.2	15.2
Water temp. (°C)	15.4	15.2	16.4	15.8	14.2	19.4
pH	7.8	9.3	8.5	8.2	8.6	9.0
DO (mg/l)	9.6	11.6	12.0	13.0	11.0	9.0
COD (mg/l)	40.4	36.1	27.6	34.0	44.6	3.8
Color (Trans. at 440 nm)	87.5	84.5	93.8	92.3	83.0	97.5
Cl ₂ (mg/l)	854	225	77	80	144	—
SO ₄ (mg/l)	264	68	132	116	100	60
Alkalinity (mg/l CaCO ₃)	245	295	285	270	280	230
SiO ₂ (mg/l)	13.8	22.4	14.4	10.2	22.8	76.8
Filtrable residue (mg/l)	2,622	972	658	644	756	376
Total residue (mg/l)	2,582	1,808	676	684	854	402

(b) Sea water

Station	Depth (m)	Low tide				High tide			
		1-1	1-2	1-3	1-4	1-1	1-2	1-3	1-4
Time of sampling		10°55'	10°40'	10°10'	9°42'	15°20'	15°40'	16°5'	16°30'
Air temp. (°C)		14.0	14.5	15.5	17.5	17.0	17.0	16.0	16.5
Water temp. (°C)	0	17.0	16.0	18.0	16.0	17.0	16.0	16.0	16.0
	1	16.0	15.0	16.5	16.0	17.5	16.5	17.0	17.5
pH	0	8.1	8.2	7.9	7.7	8.8	9.3	8.4	8.8
	1	8.2	8.3	7.9	7.7	8.9	9.1	8.3	8.8
DO (mg/l)	0	10.7	10.8	10.2	9.4	10.5	10.4	10.5	10.5
	1	10.4	11.1	10.0	9.4	10.3	10.4	11.0	10.6
COD (mg/l)	0	4.5	4.8	5.3	13.2	4.5	4.3	5.1	4.3
	1	4.0	4.9	7.0	15.7	4.9	4.5	5.3	9.4
NH ₄ -N(mg/l)	0	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25
	1	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25
Cl (%)	0	20.3	17.3	16.4	0.2	16.6	17.1	17.8	16.6
	1	16.4	17.3	16.9	7.9	16.9	17.3	17.3	16.8
SO ₄ (%)	0	2.65	2.65	2.45	1.20	2.65	2.50	2.70	2.45
	1	2.55	2.70	2.45	1.25	2.70	2.70	2.70	2.45
Alkalinity (mg/l CaCO ₃)	0	125	120	125	180	115	130	120	80
	1	125	125	135	220	115	125	130	130
SiO ₂ (mg/l)	0	3.5	<1.0	<1.0	7.1	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
	1	<1.0	<1.0	<1.0	7.4	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0

Appendix-8. The water qualities of Pu-Tzu River and its estuary on Apr. 2, 1975.

(a) River water

Station	2	3	4	5	6	7
Time of sampling	—	9°19'	9°3'	8°45'	8°7'	7°35'
Air temp. (°C)	—	18.5	17.5	17.5	16.0	14.5
Water temp. (°C)	—	20.0	20.0	20.5	19.0	22.0
pH	—	7.7	7.7	7.7	8.0	8.3
DO (mg/l)	—	11.6	0.5	0.7	6.1	7.6
COD (mg/l)	77.5	97.5	202.5	135.0	97.5	27.0
NH ₄ -N (mg/l)	0.84	1.74	0.60	1.50	2.34	<0.25
Color (Trans. at 440 nm)	88.7	72.0	46.0	80.5	80.0	98.2
Cl (mg/l)	2,024	355	92	85	124	32
SO ₄ (mg/l)	301	150	92	80	77	67
Alkalinity (mg/l CaCO ₃)	235	310	340	295	305	200
SiO ₂ (mg/l)	14.8	32.8	33.6	28.0	29.2	14.8
Ca (mg/l)	270	240	100	225	235	180
Mg (mg/l)	830	235	235	205	165	220
Na (mg/l)	1,160	216	91	62	70	25
K (mg/l)	94.0	42.0	15.0	14.0	14.5	4.6
Filtrable residue (mg/l)	3,856	1,146	754	668	706	426
Total residue (mg/l)	4,026	1,242	908	740	798	502

(b) Sea water

Station	Depth (m)	Low tide				High tide			
		1-1	1-2	1-3	1-4	1-1	1-2	1-3	1-4
Time of sampling		10°4'	10°20'	9°20'	8°52'	14°23'	14°31'	15°2'	15°30'
Air temp. (°C)		20.5	20.5	20.0	20.0	20.5	20.0	20.0	18.0
Water temp. (°C)	0	18.5	20	18.0	18.0	20.0	20.5	20.5	19.5
	1	18.0	20	18.0	18.5	20.0	20.5	21.0	20.0
pH	0	7.9	7.8	7.8	7.5	7.9	7.9	8.0	7.9
	1	8.5	7.8	7.8	7.7	8.0	8.0	8.0	7.9
DO (mg/l)	0	7.9	7.9	7.9	6.9	8.9	9.0	8.7	8.0
	1	7.8	7.8	7.6	6.7	8.5	8.2	8.6	8.1
COD (mg/l)	0	7.2	7.5	7.2	21.0	4.5	5.6	4.9	10.0
	1	9.7	9.0	8.0	24.0	7.3	7.3	5.6	9.5
NH ₄ -N (mg/l)	0	<0.25	<0.25	<0.25	0.52	<0.25	<0.25	<0.25	0.30
	1	<0.25	<0.25	<0.25	0.48	<0.25	<0.25	<0.25	0.27
Color (Trans. at 440 nm)	0	99.0	100	99.0	96.0	100	99.5	100	99.3
	1	98.8	100	100	100	100	99.5	100	100
Cl (‰)	0	17.6	18.4	17.1	10.3	17.9	17.8	18.4	17.1
	1	17.8	18.3	17.3	10.7	17.9	18.3	19.1	18.1
SO ₄ (‰)	0	2.60	2.50	2.40	1.47	2.60	2.60	2.80	2.60
	1	2.60	2.60	2.50	1.72	2.75	2.60	2.60	2.70
Alkalinity (mg/l CaCO ₃)	0	115	115	120	170	115	115	115	120
	1	130	115	115	180	115	120	120	130
SiO ₂ (mg/l)	0	1.00	<1.00	1.65	15.0	<1.00	<1.00	<1.00	1.20
	1	1.00	<1.00	1.65	13.2	1.00	<1.00	<1.00	<1.00

第三篇 朴子溪河水及底土之急毒性

I 緒 言

由第二篇河川及其河口水質化學性質之研究，得知河川之水質污染可以解釋貝類死亡時許多之現象⁽¹⁾。也就是說，在乾季工廠排出之廢水因得不到河川之稀釋，乃沉積於河床，每年四、五月初次之大雨，沖下累積於河床之污染物，因其濃度甚高，即使河口養殖之貝類受害。但是，沉積於河川之污染物如何使養殖於河口之貝類死亡？是因污染物中含有毒性物質，使貝類直接死亡？或是因爲此等污染物到達河口時，大量奪取養殖場之氧氣，而使貝類缺氧，衰弱而死？抑或尚有其他原因，必須由生物檢定及其他方法確定。

由第二篇中，可知朴子溪旁之工廠，除一家化工廠及糖廠外，絕大多數爲紙廠。我們已經知道，紙廠之廢水量相當地多，毒性亦高。據許多人之研究⁽¹⁾，已知紙廠廢液有下述種種毒性(1)流出短纖維，沉積於受水域之底床，使魚貝之產卵或餌料場所惡化。廢液中之有機物質，會助長嫌氣性細菌之繁殖，其嫌氣性產物之甲烷 (methane)、二氧化碳等會使水質惡化。(2)蒸解製紙時，使用之硫化物在廢液中形成毒性各異，種種不同的化合物。(3)蘇打法製紙時所用之氫氧化鈉，會使受水區域之 pH 上升。(4)含有多量有機物，這些有機物在分解過程消耗多量氧氣，並且產生硫化氫。(5)廢液含有高度著色物質，使魚類迴避。(6)廢液中含有樹脂酸及其他有機物，此等有機物質會使魚貝直接致死。爲知上述種種可能中，何者爲貝類死亡之主要因素，在分析水質化學之同時，亦同時進行生物檢定，以明瞭河川及養殖場之水中是否帶有毒性物質。並從朴子溪工廠集中地附近之河床採取乾涸之底土，以明其中是否確實含有毒物。經實驗後發現污水及沉積於河床之底土，確實含有強烈急性毒性物質，此乃養殖貝類死亡之本體。以下爲詳細之報告。

II 實 驗 方 法

一、生物檢定 (bioassay) 用試水：

生物檢定用之試水，係與水質化學分析用之試水相同，採樣之地點，亦與第二篇 Fig. 2-2 完全相同。試水帶回試驗室之當晚，即刻實行生物檢定。

二、實驗用魚：

本實驗中共用三種魚做爲生物檢定之材料，(1) 鯉魚，common carp, *Cyprinus carpio* 大約爲一個月左右大小之稚魚，因季節不同，使用鯉魚之全長有 10 及 30 mm 左右二類，但同一實驗則用大小相近之魚。此等鯉魚，係購自魚販，據該魚販稱係來自榮民輔導會桃園漁殖處。(2) 吳郭魚 *Tilapia mossambica* 大小約 4~5 cm 及 8~9 cm 二種，係水產試驗所鹿港分所贈送之樣品。(3) 孔雀魚，guppies, *Poecilia reticulata* 係購自市面之熱帶魚店。體長約 20 mm，以上試魚購回試驗室後，先以孔雀綠 malachit green (0.1~0.3 ppm) 消毒，然後養殖於玻璃或塑膠缸內，平時餵飼

紅蟲。鯉魚及吳郭魚用畢後，即另購新魚；孔雀魚因其能在實驗室繁殖，除購買外，亦採用實驗室內自行繁殖之魚。在生物檢定前，魚至少在實驗室馴化飼養二週，在生物檢定前二日，停止餵食。

三、實驗用貝類：

為檢定污水對貝類之急性毒性，乃自東石購買貝類。一次約購買牡蠣十串左右，每串大約有母殼七個，其中約有 15 至 20 隻牡蠣，即一整串約有牡蠣 100 至 150 隻。文蛤則一次購買個 100 個左右。將自養殖場買來之整串牡蠣及文蛤裝入帆布袋後，以火車運回實驗室。即刻將每四串牡蠣入一個大塑膠水缸，加入人工海水 100 l；文蛤則係以 30 至 50 個左右個體，入一個玻璃缸，加人工海水 10 l。此等樣品即當做儲備 (stock) 樣品。人工海水之配法係照 Vant Hoff, J.H. 之法⁽²⁾，其 Cl=14.6%，比重為 1.019，Salinity 為 26.38‰。此比重接近理論上養殖牡蠣最適宜之 1.020，及臺灣養殖場海水之實際比重 1.015~1.025⁽³⁾。自養殖場採回之貝類，原則上飼養一至二日，即供生物檢定，並盡可能在一週內實驗完畢。由預備實驗得知，如果打氣維持良好，此等貝類，可在實驗室內養殖一個月左右，而未發現有顯著不適現象。飼養期間，未曾換水，亦未特別供以飼料。

四、飼養魚貝類及對照實驗所用試水：

養殖魚貝類及對照實驗所用試水，係用水桶儲備自來水，置於溫室，室溫為 30°C 左右，以養魚用打氣唧筒 (pump)，通氣一週左右，以除去氯氣，即可供用。實驗後期，係將自來水經活性炭處理，除去氯氣。以上二種方法處理之水，經預備實驗後，得知即使長期使用，亦對魚貝無害。

五、生物檢定方法：

以魚貝類測定水中是否含有急性毒性之方法，原則上遵照 Doudoroff 等之方法⁽⁴⁾。使用之容器為高 30 cm，直徑 29 cm 之圓筒狀玻璃缸。將對照試水加入玻璃缸後，接通打氣裝備；加入適當試水，待試水與對照水攪拌均勻後，再將實驗用魚或貝放入，此為實驗開始。大部分實驗中，試水之溫度皆保持在 25°C 左右，在冬季則以養魚用加熱棒，調節溫度。實驗中，一直維持打氣，故溶解氧大致接近飽和，其值皆在 5 ppm 以上。如第二篇之報告，朴子溪河水經年之 pH，大致接近中性，對照用水之 pH 亦近於 7，故生物檢定中實驗水之 pH 大致為 7，未再調節。

試驗用水量，依魚大小不同而異，大致用量為鯉魚 10~20 尾用 4~5 l，吳郭魚 10 尾用 7~8 l，孔雀魚 10~20 尾用 4 l。文蛤則 20 隻用水 10 l。牡蠣為 1 串（殼 6 至 7 個，牡蠣隻數約為 100 至 150 隻）用水 10 l。

試驗用魚、貝，死亡之判斷，係依下法：魚類以其翻腹或浮上水面，以玻璃棒觸動，亦無反應者，做為死亡。貝類（文蛤與牡蠣）則看其殼張開，而以玻璃棒敲碰其殼，如隔一、二分亦不關閉者，視為已死。魚類及文蛤之死亡判斷，較易實行；但牡蠣必須將其取出水缸，仔細觀察，方能看出。而且實驗開始時，只知放入玻缸之牡蠣概略總數，必待實驗完畢，以起子一個一個鑽出牡蠣肉後，方知確實總數。實驗過程中，並隨時注意魚、貝死亡情形，發現魚貝死亡後，即刻將其取出。

六、生物檢定用底土：

生物檢定用之底土，係採自工廠集中地 St. 6 月眉潭橋附近，地名麻魚寮溪邊底土，此物沉積在溪邊石礫之上，可能係河水經風吹日曬乾燥之物，其狀如同黑色煤渣，粒子不大。採取時間為 1975 年 4 月 2 日。對照底土，則用 St. 7 牛稠溪橋下之底土。

七、以魚貝類檢定底土之急性毒性：

取定量底土，置入三角瓶加入對照水，以磁力攪拌器 (magnetic stirrer) 攪拌 2 小時左右。攪拌後混濁液之色黑褐，正如原來之污濁河水。再取一定量之原液加入對照水調製成種種濃度，打氣均勻，再放入魚、貝檢查其急性毒性。

III 實驗結果

一、朴子溪及其河口水質之生物檢定結果：

朴子溪及其河口水質之生物檢定結果，如 Table 3-1 至 3-8 所示。在 1974 年 4 月 28 日，臺灣全省曾下大雨，而在 4 月 30 日左右淺海養殖之貝類開始死亡。以此 4 月 30 日之試水，行生物檢定急性毒性所得之結果即如 Table 3-1 所示。由該表可知在 1974 年 4 月 30 日不但是河川水，甚至連淺海養殖場之海水，都含有強烈的急性毒物。這些試水，即使將其用清潔對照水稀釋到 4% 濃度，亦能使鯉魚大量死亡。鯉魚接近死亡時，先是在水中載浮載沉，失去平衡，死時，則張口，鰓蓋大開。淺海養殖場 St. 1-1 之 96 hr TLm (median tolerance limit) 大致為 4%。此項結果強烈顯示，淺海貝類死亡之主因，可能係由於河川帶來之有毒物質，而非由於缺乏氧氣。因為生物檢定時，所有試水都維持打氣狀況。

Table 3-1. Bioassay results of Pu-Tzu River and its estuarial waters on April, 30, 1974

Sampling station	Conc. (% test water by vol.)	No. of test fish	No. of test fish died after				Experimental condition
			24 hr	48 hr	72 hr	96 hr	
Control test	0	18	0	0	0	0	test fish, <i>Cyprinus carpio</i> . size, about 30 mm. wt, about 0.28g. water temp. $23 \pm 1^\circ\text{C}$. test water, 200 ml. diluent, 4,800 ml.
Sea water	St. 1-1	17	1	4	8	9	
	St. 1-2	17	2	3	2	3	
River water	St. 2	17	2	2	3	2	
	St. 3	17	2	4	4	4	
	St. 4	17	3	9	13	13	
	St. 5	17	3	4	4	4	
	St. 6	17	5	6	7	7	
	St. 7	17	0	1	2	3	

自 1974 年 5 月 20 日後，因為由水質化學實驗得知河川水質已經漸漸轉好，所以 5 月 20 日生物檢定用試水濃度，即提高至 6.3% (Table 3-2)。此項試驗，由於對照魚之死亡稍多，結果不良

Table 3-2. Bioassay results of pu-Tzu River and its estuarial waters on May, 20, 1974

Sampling station	Conc. (% test water by vol.)	No. of test fish	No. of test fish died after				Experimental condition
			24 hr	48 hr	72 hr	96 hr	
Control test	0	20	1	2	4	7	test fish, <i>Cyprinus carpio</i> . wt, about 0.18 g. water tem. $25 \pm 1^\circ\text{C}$ test water, 336 ml. diluent, 5,000 ml.
Sea water	St. 1-1	20	1	1	5	5	
	St. 1-2	20	1	1	4	4	
River water	St. 2	20	1	2	4	5	
	St. 3	20	0	1	3	3	
	St. 4	20	1	1	3	3	
	St. 5	20	0	2	4	4	
	St. 6	20	1	2	7	8	
	St. 7	20	0	2	2	3	

Table 3-3. Bioassay results of Pu-Tzu River and its estuarial waters
on Jun. 28, 1974

Sampling station	Conc. (% test water by vol.)	No. of test fish	No. of test fish died after				Experimental condition	
			24 hr	48 hr	72 hr	96 hr		
Control test	0	20	0	1	4	5	test fish, <i>Cyprinus Carpio</i> . size, about 0.18 g. water temp. $27 \pm 1^\circ\text{C}$ test water, 1,200 ml. diluent, 3,800 ml.	
Sea water	St. 1-1	24	20	0	2	3		5
	St. 1-2	24	20	0	1	1		5
River water	St. 2	24	20	0	0	2		2
	St. 3	24	20	0	1	1		1
	St. 4	24	20	0	0	0		4
	St. 5	24	20	0	0	0		2
	St. 6	24	20	0	0	0		2
	St. 7	24	20	0	1	2	4	

Tabl 3-4. Bioassay results of Pu-Tzu River and its estuarial waters
on Sep. 5, 1974

(a) guppies

Sampling station	Conc. (% test water by vol.)	No. of test fish	No. of test fish died after				Experimental condition	
			24 hr	48 hr	72 hr	96 hr		
Control test	0	20	0	0	0	0	test fish, <i>Poecilia reticulata</i> . size: about 20 mm. wt: about 0.05 g. water temp. $29 \pm 1^\circ\text{C}$. test water, 1,000 ml. diluent, 3,000 ml.	
Sea water	St. 1-1	25	20	0	0	0		0
	St. 1-2	25	20	0	0	0		0
River water	St. 2	25	20	0	1	1		1
	St. 3	25	20	0	0	0		0
	St. 4	25	20	0	0	0		0
	St. 5	25	20	0	0	0		0
	St. 6	25	20	0	1	2		2
	St. 7	25	20	0	0	0	0	

(b) tilapia

Sampling station	Conc. (% test water by vol.)	No. of test fish	No. of test fish died after				Experimental condition	
			24 hr	48 hr	72 hr	96 hr		
Control test	0	20	0	0	0	0	test fish, <i>Tilapia mossambica</i> . size, about 4-5 cm. wt., about 1-2 g. water temp. $29 \pm 1^\circ\text{C}$. test water, 2,250 ml. diluent, 6,750 ml.	
Sea water	St. 1-1	25	20	0	0	0		0
	St. 1-2	25	20	1	1	1		1
River water	St. 2	25	20	0	0	1		1
	St. 3	25	20	0	0	0		0
	St. 4	25	20	1	1	1		1
	St. 5	25	20	0	0	0		0
	St. 6	25	20	0	0	0		0
	St. 7	25	20	0	0	0	0	

Table 3-5. Bioassay results of Pu-Tzu River and its estuarial waters on Nov. 8, 1974

(a) guppies

Sampling station	Conc. (% test water by vol.)	No. of test fish	No. of test fish died after				Experimental condition	
			24 hr	48 hr	72 hr	96 hr		
Control test	0	15	0	0	0	1	Test fish, <i>poecilia reticulata</i> . size, about 20 mm. wt., about 0.07 g. water temp.: $25 \pm 1^\circ\text{C}$. test water, 1,000 ml. diluent, 3,000 ml.	
Sea water	St. 1-1	25	16	1	1	1		1
	St. 1-2	25	16	1	1	1		1
	St. 1-4	25	16	2	2	2		2
River water	St. 2	25	16	1	1	2		2
	St. 3	25	16	1	1	1		1
	St. 4	25	16	1	1	1		1
	St. 5	25	16	1	1	1		1
	St. 6	25	16	0	0	0		0
St. 7	25	16	1	1	1	1		

(b) tilapia

Sampling station	Conc. (% test water by vol.)	No. of test fish	No. of test fish died after				Experimental condition	
			24 hr	48 hr	72 hr	96 hr		
Sea water	St. 1-1	25	20	0	0	0	0	test fish, <i>Tilapia mossambica</i> . size, about 6 cm. water temp.: $25 \pm 1^\circ\text{C}$. test water, 2,250 ml. diluent, 6,750 ml.
	St. 1-2	25	20	0	0	0	0	
	St. 1-4	25	20	0	0	0	0	
River water	St. 2	25	20	0	0	0	0	
	St. 3	25	20	0	0	0	0	
	St. 4	25	20	0	0	0	0	
	St. 5	25	20	0	0	0	0	
	St. 6	25	20	0	0	0	0	
St. 7	25	20	0	0	0	0		

Table 3-6. Bioassay results of Pu-Tzu River and its estuarial waters on Jan. 15, 1975

(a) guppies

Sampling station	Conc. (% test water by vol.)	No. of test fish	No. of test fish died after				Experimental condition	
			24 hr	48 hr	72 hr	96 hr		
Control test	0	20	0	3	3	3	test fish, <i>Poecilia reticulata</i> . size, about 20 mm. wt., about 0.07 g. water temp.: $25 \pm 1^\circ\text{C}$. test water, 1,000 ml. diluent, 3,000 ml.	
Sea water	St. 1-1	25	20	0	0	0		0
	St. 1-2	25	20	0	0	0		0
	St. 1-3	25	20	0	2	2		2
River water	St. 2	25	20	—	—	—		—
	St. 3	25	20	4	7	7		8
	St. 4	25	20	—	—	—		—
	St. 5	25	20	0	0	0		0
	St. 6	25	20	1	3	3		3
St. 7	25	20	1	1	1	1		

(b) tilapia

Sampling station	Conc. (% test water by vol.)	No. of test fish	No. of test fish died after				Experimental condition
			24 hr	48 hr	72 hr	96 hr	
Control test	0	10	0	0	0	0	test fish, <i>Tilapia mossambica</i> . size, about 6 cm, water temp. $25 \pm 1^\circ\text{C}$. test water, 2,250 ml. diluent, 6,750 ml.
Sea water St. 1-2	25	10	0	0	0	0	
River water { St. 6	25	10	0	1	1	1	
{ St. 7	25	10	1	1	1	1	

Table 3-7. Bioassay results of Pu-Tzu River and its estuarial waters
on Feb. 20, 1975

Sampling station	Conc. (% test water by vol.)	No. of test fish	No. of test fish died after				Experimental condition	
			24 hr	48 hr	72 hr	96 hr		
Control test	0	20	2	5	9	15	test fish, <i>Poecilia reticulata</i> . size, about 20 mm. wt., about 0.08 g. water temp., $15 \pm 1^\circ\text{C}$. test water, 1,000 ml. diluent, 3,000 ml.	
Sea water {	St. 1-1	25	20	1	2	2		3
	St. 1-2	25	20	1	2	2		2
	St. 1-3	25	20	0	0	1		1
	St. 1-4	25	20	0	0	0		0
River water {	St. 2	25	20	1	2	6		7
	St. 3	25	20	1	3	5		9
	St. 4	25	20	0	0	3		8
	St. 5	25	20	0	0	1		4
	St. 6	25	20	1	4	11		15
	St. 7	25	20	0	1	4		6

Table 3-8. Bioassay results of Pu-Tzu River and its estuarial waters
on Apr. 3, 1975

(a) guppies

Sampling station	Conc. (% test water by vol.)	No. of test fish	No. of test fish died after				Experimental condition	
			24 hr	48 hr	72 hr	96 hr		
Control test	0	20	0	0	0	0	test fish, <i>Poecilia reticulata</i> size, about 20 mm wt., about 0.08 g water temp., $22 \pm 1^\circ\text{C}$ test water, 1,000 ml diluent, 3,000 ml	
Sea water {	St. 1-2	25	20	0	0	0		0
	St. 1-5	25	20	0	0	0		0
River water {	St. 2	25	20	0	0	0		0
	St. 3	25	20	0	0	0		0
	St. 4	25	20	0	0	0		1
	St. 5	25	20	0	0	0		0
	St. 6	25	20	0	1	1		1
	St. 7	25	20	0	0	0		0

(b) common carp

Sampling station	Conc. (% test water by vol.)	No. of test fish	No. of test fish died after				Experimental condition
			24 hr	48 hr	72 hr	96 hr	
Control test	0	10	0	0	2	3	test fish, <i>Cyprinus Carpio</i> size, about 12 mm water temp. $22 \pm 1^\circ\text{C}$ test water, 500 ml diluent, 1,500 ml
Sea water	St. 1-2	10	0	2	2	3	
	St. 1-5	10	0	1	4	5	
River water	St. 2	10	0	0	0	0	
	St. 3	10	1	1	2	2	
	St. 4	10	0	0	0	0	
	St. 5	10	0	0	0	0	
	St. 6	10	0	1	1	2	
	St. 7	10	1	3	3	5	

。但由對照組，海水及河水組互相比較時，可以發現彼此之間死亡率並無有意義之相差。即在 6.3% 之試水濃度下，河川水或養殖場用水，似乎皆對鯉魚不產生毒害。

由 1974 年 6 月 28 日以迄於 1975 年 4 月 3 日，共再進行了六次生物檢定。由於 7 月以後，鯉魚已經長大，得不到小型鯉魚，乃改用孔雀魚及吳郭魚做生物檢定。並且將試水濃度皆提高至 25%。由 Table 3-3 至 3-8 可知，不管是河水，或是養殖場之海水，實驗組與對照組魚類之死亡率，幾乎沒有差異。雖然少數實驗中，對照組魚類之死亡率亦相當地高。換句話說，這些實驗中之試水沒有什麼急性毒性物質，或是，其濃度並未高至能使魚類死亡。

綜合 Table 3-1 至 3-8 之結果，發現在整整一年中，只有乾、雨交接之 1974 年 4 月 30 日河川及養殖場海水有強烈急性毒性物質，此恰與淺海貝類死亡時間一致。

二、朴子溪河床底土對魚貝類之毒性：

為知朴子溪工廠附近底土是否含有毒性物質，乃將其配成懸濁液 (suspended solution)。底土有部份不溶，溶解部份則呈黑褐色並有大量泡沫。將此原液，配成種種濃度後，即對魚、貝類行生物檢定。調製後之試液，濃度越高者，打氣時產生之泡沫越多。

(a) 底土對魚類之急性毒性：

由 Table 3-9，可知朴子溪河床底土對魚貝類有相當強烈的毒性。當底土濃度為 330 ppm (將 0.33 g 底土加水至 1 l) 時，不管是小的鯉魚、孔雀魚 (2~3 cm)，或是較大的吳郭魚 (8~9 cm)，都在 10 分鐘內，翻腹死亡，當底土溶液之濃度低至 66 ppm，鯉魚及孔雀魚仍然在數小時內即告

Table 3-9. Acute toxicities of sediment from Pu-Tzu River to carp, guppies, and tilapia.

Conc. of sediment (ppm)	Median survival time (hr)		
	Common carp	Guppies	Tilapia
330	0.4	0.4	0.1
132	2.5	4.0	—
66	4.0	8.3	—

Sizes of carp, guppies, tilapia, were about 0.3, 0.2, 8-9 cm; water temp. 25°C aerated; in each test 10 fish were used and volume of water was 10 l; in control tests all fishes survived.

死亡，由 Table 3-9 可知孔雀魚對此毒物之抵抗力似乎比鯉魚強。在試驗底土對魚之毒性，亦曾拿 St. 7 牛稠溪橋下之底土實行生物檢定，其結果顯示，即使底土濃度高至 2,000 ppm，魚類亦絲毫不受影響。

魚類在接近死亡時，其共同特徵是首先呈現出無力狀態。在正常時，當魚游至打氧氣泡附近時，即會躲過或游過，但當其受到污物影響時，則運動力減弱，易被氣泡沖走，時時側着體軀游動，或將頭浮上水面，形似立游，鰓蓋開的相當地大。鰓魚、孔雀魚接着就無力狀死去。死時鯉魚會游至上層，孔雀魚則沉至缸底。較大之吳郭魚，死亡時之現象較易觀察，置入污水中不久，其鰓會流血，死前會亂跳一、二下，隨即死去。浸於 330 ppm 試水中之鯉魚、孔雀魚或吳郭魚，即使只浸泡一、二分鐘，再移入清水，亦不能將其救活；即在此濃度下，魚浸泡時間長短，似乎沒有重要關係。

(b)底土對貝類之急性毒性：

雖然朴子溪之底土對於魚類具有強烈毒性，但是貝類，如牡蠣、文蛤之抵抗力如何，必需直接以其做試驗，方可知道。Table 3-10 之結果指出，此種底土所配成之試液對於文蛤、牡蠣仍然具有相當強的毒性。在 330 ppm 之濃度下，第一天文蛤就死了 20%，第二天增多一些，第三天則幾乎全滅。對牡蠣而言，在第一天時，其死亡較少，大概有 10% 死亡，第二天死亡率即急速增加，到了第三天 330 ppm 濃度試水之牡蠣幾乎死亡殆盡。其他 198 ppm，132 ppm 及 66 ppm 三種試液下之牡蠣死亡較 330 ppm 試液為慢，但是到了第四天，死亡率亦達 70 至 80%。換句話說，此種底土配成之溶液，即使在 66 ppm 之濃度下，經四天，牡蠣之死亡率亦相當地高。由 Table 3-10 可以看出，在 198 ppm，132 ppm 及 66 ppm 溶液中之牡蠣，其死亡比率似無大差。是否底土中所含毒物，溶解於水之程度不大；所以在 198 ppm，132 ppm 及 66 ppm 底土溶液中之「有效毒物」比率一定。因此死亡率沒有差別，尚有待實驗證明。

Table 3-10. Acute toxicities of Sediment from Pu-Tzu River to oyster and clam.

Conc. of sediment	No. of test shellfish	No. of shellfishes died after			
		24 hr	48 hr	72 hr	96 hr
Clam	Control test	20	0	1	—
	330 ppm	20	5	18	—
Oyster	Control test	96	1	7	13
	330 ppm	132	14	87	—
	198 ppm	155	3	87	111
	132 ppm	110	5	71	98
	66 ppm	84	5	43	64

Water temp. $27 \pm 1^\circ\text{C}$, aerated, total water was 10 l. in each test.

普通，正常牡蠣或文蛤在水中時，會微開其殼，如以棒觸之，或取出水面，即立刻緊閉其殼。然而，置於污水中之牡蠣或文蛤，以棒觸之，只會慢慢關閉其殼，再嚴重者，則牡蠣不會閉殼，文蛤雙殼全開，其時，即判斷其已死亡。

(c)浸於毒液之牡蠣移於清水之效果：

由上述實驗已知朴子溪底土製成之溶液，對於文蛤及牡蠣都有很強的毒性。但是在淺海現場，依潮流及養殖位置，此等牡蠣浸於污水之時間，可能有長短之別，例如海水可能在幾小時內將河川

帶來污物沖淡。為知此等沖淡效果，乃將牡蠣先浸於有毒底土溶液中，經過一段時間，再將其移入清水，觀察其致死情形。由 Table 3-11 可知，在 330 ppm 試液中只浸 3 小時，即移入清水之牡蠣（實驗區 b），其第一天之死亡率幾乎與對照組沒有差別。但是從第二天開始，其死亡率即增加到 12%，第三天升至 28%，第四天增至 50%。浸在毒水之時間越久，死亡率越高，例如三天後，浸漬 0, 3, 6, 12 小時之死亡率各為 7%，28%，52%，70%。一直浸在毒水之牡蠣，其死亡率則高達 93%。由以上結果可知，泡在 330 ppm 底土溶液中，即使只經過 3 小時，亦對牡蠣產生重大的傷害。

Table 3-11. Effect of restoration of oyster to fresh water after immersing in toxic sediment solution (330 ppm).

Exptl. group	Immersion time (hr)	No. of test oyster	No. of oyster died after			
			24 hr	48 hr	72 hr	96 hr
(a)	0	96	1	3	7	13
(b)	3	124	2	15	35	62
(c)	6	106	4	47	55	67
(d)	12	150	7	56	104	114
(e)	not be restored to fresh water	132	14	87	122	—

IV 討 論

在今年(1975年)4月2日以前,東石附近淺海養殖場之貝類,幾乎沒有死亡現象發生。因爲貝類養殖過密,曾被認爲可能係致死要因之一,所以從去年開始,漁會即勸導漁民不要養的太密,漁民也遵照實行。所以在4月2日,筆者等至現場調查時,漁會人士認爲可能因養殖密度減低,所以今年沒有大量貝類死亡之現象發生。然而在4月5日,全省突下大雨,4月7、8日淺海養殖貝類即告大量死亡。據水產試驗所觀察現場死亡情形稱:在河川污水初至河口之第一日,魚類、蟹等即成羣游至河口,浮上水面,隨即在當日死亡,但在此日,牡蠣並無太大異狀。到了第二、三日牡蠣即發生死亡,至第四日則大量死亡。由筆者等實驗底土對魚貝類之急性毒性中(Table 3-9與3-10),可以發現,在66 ppm以上底土試液中,魚類在第一日即告全部死亡,然而牡蠣之死亡却並不爲多,到第三、四日方才大量死亡。此種魚類先死,貝類後死之順序恰與現場之觀察非常一致。

爲研討此項貝類大量死亡問題,臺灣省漁業局曾在1975年4月23日在東石召開漁會、漁民、縣市政府水產人員與研究人員座談會。當詢漁民以去年至今年一年間,養殖貝類不同月別之死亡情形,漁民答稱,在去年(1974年)4月底,貝類死亡過後,至十月間,貝類幾乎全無死亡。然而從十月底,則漸漸有少數死亡,唯不嚴重。到了今年4月6、7日之後,又告大量死亡。另有人稱,如發現文蛤有不適現象,儘速將其移至清潔鹽水中飼養,在24小時後,可以恢復許多貝類之生命。與此對照,筆者等所得之結果爲(1)在乾雨季交接之1974年4月30日,不論是朴子溪河水,或者是貝類養殖場之海水,都具有強烈的毒性,能使實驗生物死亡大半。(2)六月至十月爲雨季,河水及海水都沒有毒性。(3)乾季之十一月至四月,河水量少,只有少量工廠廢水流至河口,水中之毒性亦低。(4)朴子溪河床底土配成的溶液,即使只有0.0066% (66 ppm)亦能使魚類、文蛤、牡蠣,在數小時以至數日內大量死亡。(5)浸於毒液之牡蠣將其移於清潔人工海水中,死亡率可降低。(6)1975年4月5日下大雨,6、7日貝類開始大量死亡。將此實驗室的證據參照現場的觀察,我們所得到的結論是:工廠排出之廢水中,含有強烈有毒物質,在乾季(每年十一月左右至次年四、五月)中沉積於河床,每年春季初次大雨來時,即將累積在河床的有毒物質,沖至河口,此爲臺灣淺海養殖貝類大量死亡之因。下列因素可能與其死亡比率有關:(1)工廠廢水量的多寡:如果排出該等毒物之工廠,生產額升高,廢水量增加,即有多量毒物流至河川。(2)乾季的久暫及初次大雨帶來水量之多寡:沉積於河川之有毒物質,其流至河口之濃度,大約由此等氣象條件決定。乾季期長,初次溪流大時,毒物之濃度即高。(3)河口之潮汐及潮流的方向:毒物流至河口時,潮汐的時間,潮流的方向會影響污水之流向與停滯養殖場之久暫。停滯時間愈久,貝類之死亡率愈高。

河川底土及河水中之強烈毒性物質,到底爲何物,其化學性質如何?筆者等已在進行研究,如有所得,當另文詳細報告。

V 摘 要

將自朴子溪河川及其河口養殖場採得之試水，以鯉魚、孔雀魚、吳郭魚等行生物檢定後發現(1)1974年4月30日之河水及海水，即使稀釋至4%，亦能使實驗魚類死亡過半。而4月29、30日恰為貝類大量死亡時期。(2)自1974年5月至1975年4月2日，採得之河水或養殖場海水，即使調至成25%濃度，魚類亦無死亡現象；而現場養殖貝類在此期間，亦無死亡事例。然而當以朴子溪河床之底土(1975年4月初採樣)，調製成懸濁液時，只要0.0066% (66 ppm)以上，即能使鯉魚、孔雀魚及吳郭魚在數分鐘至數小時內死亡。牡蠣及文蛤則同樣受到此種溶液重大傷害，在第二、三日內死亡70~80%以上。在1975年4月5日大雨後，4月7、8日養殖貝類又發生死亡事例。由以上實驗室結果，及現場調查所得之結論是：工廠所排出之廢水帶有強烈毒性物質，在乾季(每年十一月至次年四、五月)中沉積於河床，每年春季初次大雨來時，即將累積於河床之有毒物沖至河口，此為臺灣淺海養殖貝類大量死亡的主因。

VI 本 篇 參 考 文 獻

1. 河邊克巳、富山哲夫 (1954)：工廠廢水の淨化方法に関する研究—I. 酸添加處理によるアルカリバルブ廢液の除毒方法。日本水産學會誌，20, 700~708
2. 小久保清治 (1965)：海洋生物學 p. 227。恒星社厚生閣版(日本、東京)。
3. 黃英武 (1965)：影響臺灣牡蠣生長之一些因素。中國水產。145期，4頁。
4. Doudoroff P. *et al.* (1951) Bioassay methods for evaluation of acute toxicity of industrial wastes to fish. *Sewage and Industrial wastes*, 23, 1380-1397.

第四篇 重金屬、農藥與貝類死亡之關係

I 緒 言

由上述第二篇及第三篇之結果，我們已經可以肯定河川污染是貝類死亡之主因。由底土之毒性實驗，已知使貝類致死之主體乃為有毒物質。有毒物質之種類極多，但是從人類本身之食品衛生觀點看來，重金屬與農藥是最重要之一類，因為貝類之死亡，如與重金屬或農藥有關，則不但是貝類本身存亡之問題，食用此等牡蠣、文蛤後，人體健康亦可能受到嚴重損害。重金屬及農藥之化學性質安定，極易經由食物鏈而累積於魚體中。由於生物濃縮之現象，這些毒物最後在魚貝類中之含量常為水中之數千倍至數萬倍。如果臺灣貝類之死亡原因是由於工業廢水中之重金屬，或水中之農藥所引起，則幸而不死之牡蠣，極可能含有高濃度之重金屬或農藥。食用此等貝類即對國民健康發生嚴重之威脅。為維護國民之健康，筆者等亦詳細檢討了重金屬、農藥與貝類死亡之關係。

II 實 驗 方 法

一、牡蠣材料及採樣地點：

以三條崙、金湖、東石與布袋四處做為採樣地點。透過各地漁會之協助，自六十二年三月至六十三年三月一年間，在一定間隔（二週至一月）向固定養殖戶採購牡蠣。每次取 60~100 隻左右，連殼運回臺北後，方剝殼取出可食部份。剝殼後之牡蠣均以其半數（30~60 隻左右）混合做為一個樣品，分析其中重金屬含量，並以其他半數混合做有機氯劑農藥殘量之分析。在六十三年四月下旬，牡蠣又發生死亡現象，乃於四月三十日再次採樣，並將採樣地點擴大至二十站，範圍則北由三條崙起，南至布袋為止。採樣所得之牡蠣有部份死亡，殼已開但其死體仍留體內。牡蠣帶回實驗室後，即將脫殼與未脫殼之牡蠣分開，分成二組分析：重金屬之分析係以 5~6 隻混合做為一個樣品，農藥則以 4~5 隻混合做為一個樣品分析。

二、底土樣品：

底土樣品乃與第三篇供生物檢定用者相同，採自朴子溪麻魚寮附近河床底土。

三、重金屬含量之分析：

汞、鉛、鎘、鎳、與銅之分析係將樣品灰化後，以鄭等⁽¹⁾之改良法測定。即以 APDC-MIBK 法抽出重金屬，再以原子吸光儀測定。砷之測定，係採用 Ammonium molybdate 法⁽²⁾，以分光光度計測定其吸光度，由標準曲線換算出其含砷濃度。

四、有機氯劑農藥殘餘量之分析：

魚貝類中有機氯劑農藥之分析，主要係依美國 Food and Drug Administration 之方法，抽出脂質並以 acetonitrile partition 及 florizil column chromatography 精製，並以氣體色層分析儀，以 D-11 及 QF-1 兩種 column 分析樣品中有機氯劑之殘餘量⁽³⁾。底土中有機氯劑農藥之分析係以風乾底土為材料，分析方法則與魚貝類之分析完全相同。

III 結果與討論

一、牡蠣中重金屬含量：

由1973年3月至1974年3月，雲林、嘉義等地牡蠣之重量，及鋅、銅、鎳、鎘、鉛、汞之含量如圖4-1所示。牡蠣以易於累積鋅、銅而出名，例如澳洲 Tasmania 地方之牡蠣 *Crassostrea gigas* 含鋅及銅分別為 318~10,019 及 4.0~192 ppm，平均為 1,000 及 30 ppm⁽⁴⁾；日本宮崎地方之正常牡蠣 *Ostrea gigas* 含鋅 63~290 ppm，含銅 8~65 ppm⁽⁵⁾。臺灣雲林、嘉義等地牡蠣含鋅及銅量似乎皆以 4 月間之濃度較高。其值分別在 23~140 及 5~60 ppm 之間。由牡蠣體中低濃度之鋅、銅含量，可以判斷雲林、嘉義牡蠣之養殖水中幾乎沒有受到鋅、銅之污染。

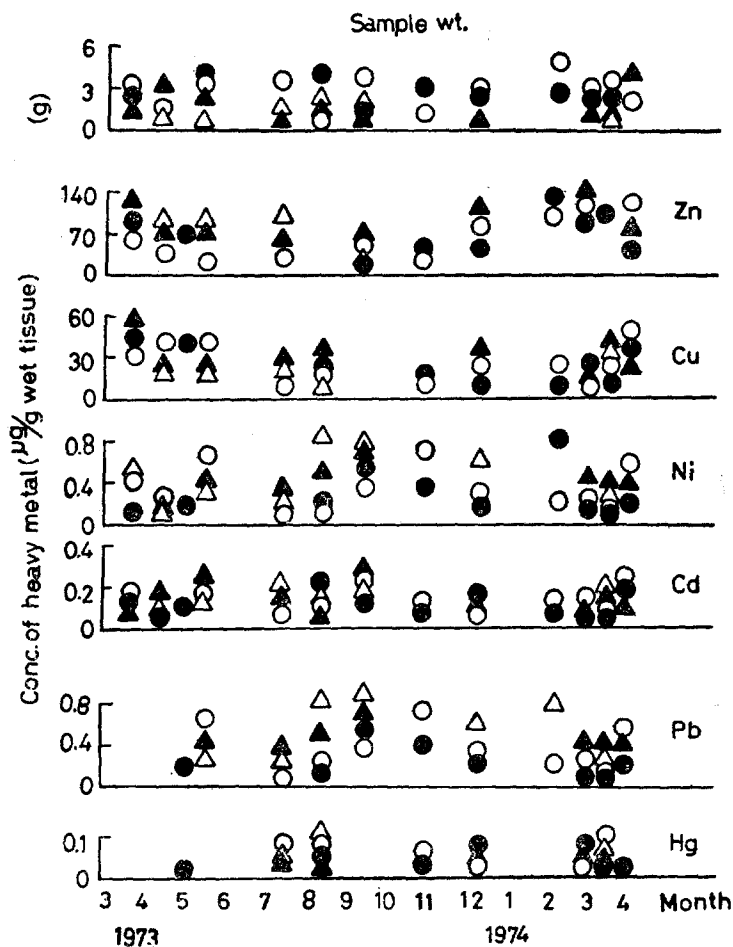


Fig. 4-1. Sample weight and heavy metal concentration in oysters collected from different stations (Δ San-tai-o-lun; \blacktriangle Chin-hu; \circ Tung-shih; \bullet Pu-tai)

由圖 4-1 中，可以看出臺灣牡蠣含鎳、鎘在 0.1~0.8 及 0.01~0.3 ppm 之間，而鉛則皆在 0.8 ppm 以下，汞皆在 0.1 ppm 以下。此等重金屬濃度，無一超過任何國家之規定⁽¹⁾，其濃度可謂在正常範圍內。臺灣牡蠣之含低濃度重金屬，說明此等水域中顯然未受重金屬之污染。臺灣牡蠣之異常死亡，主要在 4、5 月間，但圖 4-1 却指出在 4、5 月間，牡蠣之鎳、鎘、鉛、汞之濃度並無較高之現象。

除上述結果外，民國 63 年 4 月 30 日捕獲之牡蠣，含有脫殼死體與未脫殼活體，經分析後發現

在 20 個站中，死體所含之重金屬含量並未高於活體，而且不同採樣地點之間重金屬之含量並無差異。由此可知牡蠣之死亡，應與汞、鉛、鎘、鎳、銅等重金屬沒有關係。此實驗中，唯一值得注意者為在 72 個分析值中（採樣站數 20，每站分析 3~4 個樣品，共有個 72 分析值），有 3、4 個樣品含鉛、汞較高。即牡蠣中汞之濃度均在 0.01~0.1 ppm 之間，但 63 年 4 月 30 日之樣品中却有 4、5 個高於 1 ppm；鉛之整年濃度均在 0.1~0.8 ppm 之間，63 年 4 月 3 日之樣品中却有 3、4 個高於 2 ppm。除汞、鉛之外，銅、鋅、鎘、鎳並無此種現象。為何極少數之樣品 (<10%)，會有較高濃度之汞、鉛，則有待進一步的研究。

嘉義附近一帶，曾有烏脚病例發生，有人提出係因砷之關係⁽⁶⁾。為知此等牡蠣之死亡是否與砷有關，亦在 1973 年（民國六十二年）3 月及 63 年 4 月 30 日二次分析三條崙、金湖、東石、布袋四處牡蠣之含砷量。實驗結果發現此等牡蠣含砷量並不為高，只在 0.6~3.5 ppm 之間。故牡蠣之死亡，與砷亦應無關係。

二、淺海養殖牡蠣中有機氯劑農藥之殘餘量：

農藥對魚貝類有相當高的毒性，尤以殺蟲劑中之有機氯劑，通常只要數個 ppb 之濃度即能使魚貝類死亡。廣大之嘉南平原所用之農藥，可能經由北港溪、朴子溪等河川流至嘉義、雲林等牡蠣養殖區。欲知此等地區牡蠣之死亡與農藥是否有關，最直接之方法即為分析養殖地區之海水是否含有高濃度之農藥。但事實上，農藥之分析至為繁雜，以現在之方法欲經常分析海水之農藥含量，實際上極為困難⁽⁷⁾。目前已經有許多證據指出，水棲生物組織中之農藥常與其棲息水中之農藥有正比之關係⁽⁷⁾。經由生物濃縮之現象，水棲生物體中之農藥常為水域中之數千倍乃至數萬倍，例如棲於 0.1 ppb DDT 水中 1 個月之牡蠣，其體中 DDT 會升至 7 ppm，即濃縮倍數 70,000 倍⁽⁸⁾。因此，欲知臺灣牡蠣是否因農藥而死亡，最佳方法之一莫過於定期分析牡蠣體中之農藥。

農藥種類雖然很多，然而以有機氯劑殺蟲劑對牡蠣之毒性最大，為有機磷劑與除草劑之 100 倍大⁽⁹⁾，另外，有機磷劑殺蟲劑之急性毒性雖然甚高，但因在自然界中比較容易分解，故本實驗主要係分析牡蠣體中有機氯劑殺蟲劑之殘餘量，計有 aldrin, BHC 類, DDT 類, dieldrin, endrin, heptachlor 及 heptachlor epoxide 等。經過一年分析之結果，發現臺灣牡蠣中並無 aldrin, endrin, heptachlor 與 heptachlor epoxide 等農藥存在。只有極少量之 BHC, DDT 及 dieldrin 存在，其整年含量如圖 4-2 所示。Butter⁽¹⁰⁾ 曾指出對牡蠣來講，其體中之 DDT 如小於 0.12 ppm 是足可「予以忽視」。由圖 4-2 可知臺灣牡蠣中含 DDT 未有超過 0.08 ppm 者，故牡蠣

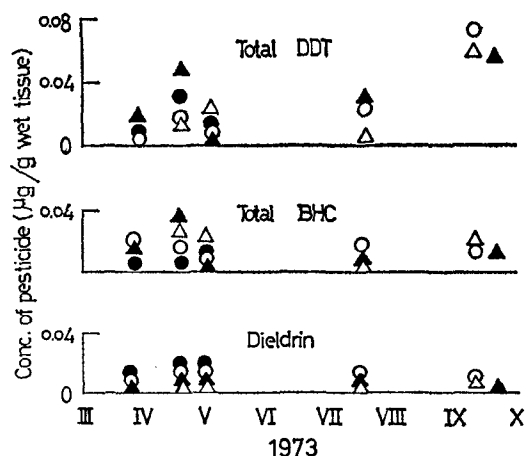


Fig. 4-2. Organochlorine pesticide residue of oysters collected from different stations (Δ San-tiao-lun; \blacktriangle Chin-hu; \circ Tung-shih; \bullet Pu-tai)

之死亡亦與 DDT 無關。BHC 之毒性常低於 DDT，由圖 4-2 可看出臺灣牡蠣之含 BHC 量低於 DDT，故牡蠣亦不可能因 BHC 而死，此等牡蠣雖含 dieldrin，但其含量極低，並不足以威脅牡蠣之生存。此外，此三種農藥在 4、5 月「危險季節」中並未有較高之濃度。

除以上之整年，定期分析外，如同重金屬之實驗一樣，民國 63 年 4 月 30 日採得之牡蠣亦分成死體與活體分析其農藥含量。實驗結果發現牡蠣死體與活體中，有機氯劑農藥含量並無差異。此項事實，足以說明農藥與牡蠣死亡無關係存在。

三、朴子溪底土中有機氯劑農藥含量：

由第三篇中之實驗，已知朴子溪底土含有強烈毒性，為知此種強烈毒性是否與農藥有關，乃詳細分析其含量。實驗後發現此底土中未能偵測出 α -BHC， β -BHC， δ -BHC，heptachlor，heptachlor epoxide，aldrin，dieldrin，endrin，*p,p'*-DDT，DDD，僅有 γ -BHC 2.943 ppm，*o,p'*-DDT 0.805 ppm，DDE 0.220 ppm。如將此底土配成 330 ppm 溶液，則其溶液中僅含有 γ -BHC 0.970 ppb，*o,p'*-DDT 0.265 ppb，DDE 0.275 ppb。此 DDT 與 BHC 之濃度遠低於其能使魚類致死之濃度。例如，Jones⁽¹¹⁾ 綜合許多人之研究結果，發現依魚類不同，使魚在 24 小時（或 96 小時）急性致死之 DDT 濃度在 16 ppb 至 500 ppb 之間，而孔雀魚之 96 小時 median tolerance limit (MTL) 為 43 ppb；BHC 之毒性較低，其 96 小時致死濃度在 2.17 至 2.3 ppm 之間，而孔雀魚之 96 小時 MTL 為 2.17 ppm。所以，以朴子溪底土配成 330 ppm 溶液，雖然能使魚類在數十分鐘內死亡，但是由上述數字，可知底土所含之毒性，並非由於有機氯劑農藥而來。

IV 摘 要

爲知重金屬與農藥與貝類大量死亡之關係，在 1973 年 3 月至 1974 年 3 月一整年間，每隔一月左右自雲林之三條崙與金湖，嘉義之東石與布袋定期採購牡蠣，分析其中之重金屬與農藥之含量。並在 1974 年 4 月 30 日牡蠣死亡期間，採得死亡之個體及殘存之活體，分別分析其重金屬與農藥之含量。實驗後，發現(一)汞、鉛、鎳、鎘、鋁、銅、鋅與砷在此等牡蠣之含量，整年中皆不爲高。(二)整整一年中，牡蠣體中並不含 aldrin, endrin, heptachlor, heptachlor epoxide 等劇毒農藥，只含極微量之 DDT, BHC 及 dieldrin。(三)在四、五月牡蠣「危險季節」中，重金屬與農藥之含量皆未見增加。(四)異常死亡之牡蠣與殘存個體之間，不論是重金屬或農藥，其濃度並無差別存在。(五)朴子溪底土雖然含有 γ -BHC, DDT 及 DDE 等有機氯劑農藥，但是其量不足對貝類產生急性毒性。由以上之實驗結果，得知臺灣西南淺海岸養殖貝類之異常，應與重金屬及農藥無直接關係存在，以殘存之貝類做爲食用，至少沒有重金屬與農藥毒害之顧慮。

V 本篇參考文獻

1. JENG S. S. and Y. W. HUANG (1973). Heavy metal contents in Taiwan's cultured fish. *Bull. Inst. Zool., Academia Sinica* 12(2), 79-85.
2. 日本分析化學會關東支部編：公害分析指針 (1972)。食品編 1-b，共立出版株式會社，東京。
3. JENG S. S. and L. T. SUN (1974). Organochlorine pesticide residues in cultured fishes of Taiwan. *Bull. Inst. Zool., Academia Sinica* 13(1), 37-45.
4. RATKOWSKY D. A. (1974). A numerical study of the concentration of some heavy metals in Tasmanian oysters. *J. Fish Res. Bd. Canada*, 31, 1165-1171.
5. IKUTA K. (1968). Studies on accumulation of heavy metals in organisms—II. On accumulation of copper & zinc in oysters. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 34, 112-116.
6. CHEN K. P., H. Y. WU and T. C. WU (1952). Epidemiologic studies on blackfoot disease in Taiwan—3 Physico-chemical characteristics of drinking water in endemic blackfoot disease area. *Memoirs college Medicine, National Taiwan Univ.* 8, 115-129.
7. FAO Fisheries Reports No. 99, Suppl. 1, (1971). Report of the Seminar on Methods of Detection, Measurement & Monitoring of Pollutants in the Marine Environment p. 40, FAO, Rome.
8. BUTTER P. A. (1970). Pesticides in the sea. The encyclopedia of marine resources. p. 515 (ed. F. E. FIRTH) Van Nostrand Reinhold Co., N. Y.
9. JOHNSON, D. W. (1968). Pesticides and Fishes—A review of selected literature. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 97, 398-425.
10. BULTER, P. A. (1966). Fixation of DDT in estuaries. *Trans. N. Amer. Wildlife Conf.*, 31, 184-198.
11. JONES, J. R. E. (1964). Fish and river pollution, p. 136, Butterworths (London).

誌 謝

本研究之經費乃得農復會補助，計劃號碼 75(NSC)-A31-0861；並承農復會漁業組各位先生熱心支持；中央研究院動物所蘇仲卿所長給予鼓勵；謹致最深謝意。實驗期中蒙臺灣大學海洋研究所研究生柳家瑞、王松賓、羅秀婉及東海大學鍾以衡小姐等人協同至現場採取水樣及測定；海洋學院漁業系主任歐錫祺教授協助測定養殖場採樣位置；中央研究院植物研究所鄔宏潘博士參與討論；海洋學院朱震同學繪圖繕寫；東石漁會黃居住股長幫忙採購實驗用牡蠣及文蛤；水產試驗所鹿港分所惠贈實驗用魚；嘉義縣政府水產課長吳錦明先生，及中央氣象局呂世宗先生等提供寶貴資料；謹此一併致以謝忱。

參加工作人員

鄭森雄 (Sen Shyong Jeng)：中央研究院動物研究所，綜理研究計劃之擬定與進行；各項實驗之督導與結果解析；全篇報告之撰寫。

連壯林 (Juang Lin Lain)：中央研究院動物研究所，負責水質調查實驗與重金屬分析。

王果行 (Guoo Shyng Wang)：中央研究院動物研究所，負責水質調查實驗與重金屬分析。

陳松堅 (Song Jian Chen)：臺灣大學海洋研究所，負責生物檢定實驗。

黃耀文 (Yao-Wen Huang)：海洋學院水產製造系，負責重金屬分析。

孫藍天 (Lian Tien Sun)：中央研究院動物研究所，負責有機氯劑農藥分析。

現場調查與採樣人員：鄭森雄、連壯林、王果行、陳松堅、黃耀文、柳家瑞、王松賓、朱震、羅秀婉、鍾以衡。

全文摘要

牡蠣及文蛤為臺灣重要的淺海養殖漁業，主要係養殖於嘉義、雲林、彰化一帶，每年之生產價值達新臺幣陸、柒億元左右。然而自民國五十八、九年開始至今，在每年的四、五月間，這些淺海養殖貝類皆有大量異常死亡現象發生。據估計其死亡率平均為 50%，嚴重者有達 70 至 80% 者，每年損失金額在新臺幣一億元之譜，對漁民及淺海養殖漁業之影響至鉅。

此等貝類之大量異常死亡原因，有種種推測：一、水質污染。二、疾病。三、養殖過密。四、環境突變。五、赤潮來襲。六、農藥污染等。爲了預防及解決此項問題，筆者等亦自河川之水質化學，生物檢定毒性，及農藥，重金屬等方面詳加檢討，研究其可能致死之原因。經實驗結果，發現河川之水質污染為臺灣西南淺海養殖貝類大量死亡之主要原因。

從 1974 年 3 月至 1975 年 4 月，在臺灣西南沿海地區，以朴子溪及其河口為主，附近河流為輔，共進行了八次水質化學調查。由現場調查及實驗得知：一、在雲林、嘉義、臺南地區，每年從四、五月，以迄十月左右，屬於雨季，從十一月至次年四、五月為乾季。朴子溪、北港溪等河流在雨季時河水盈滿，流速急快，但是在乾季，則河床乾涸，水流緩慢。二、位於河川兩旁有許多工廠，其中以紙廠為絕大多數，此等工廠廢水大多未經任何處理即排出廠外。三、在雨季之六月至十月，因工業廢水得到河水之稀釋，所以河川水之化學需氧量較低，溶氧較高，水質污濁程度較微。四、在乾季之十一月至次年四、五月，工廠排出之廢物得不到河水之稀釋，因此不易流至河口，而大量沈積於河床上。是故工廠附近之河川水質極為污濁，但河口附近之水域則因為流來之廢水量少，污染程度不重。五、在乾季與雨季交接之四、五月，初次大雨即將乾季中長期累積於河床之污染物，一次沖至河口，使溶解氧大降，化學需氧量增高，水色變為紅褐，因此對河口生物造成嚴重傷害。六、朴子溪及其附近許多河川水質之污染程度已相當嚴重，非但不能做為飲水來源，連魚貝類亦無法生存。

爲知上述河水中是否含有急性毒性物質，乃將朴子溪及其河口養殖場採得之試水，以鯉魚、孔雀魚、吳郭魚等行生物檢定毒性，實驗後發現：一、1974 年 4 月 30 日之河水及海水，即使稀釋至 4%，亦能使實驗魚類死亡過半。而 4 月 29、30 日恰為貝類大量死亡時期。二、由 1974 年 5 月至 1975 年 4 月，採得之河水或養殖場海水，即使調至成 25% 濃度，魚類亦無死亡現象，而現場養殖貝類在此期間，亦無死亡事例。三、以朴子溪河床之底土（1975 年 4 月初採樣），調製成懸濁液時，只要 0.0056% (66 ppm) 以上，即能使鯉魚、孔雀魚及吳郭魚在數分鐘至數小時內死亡。牡蠣及文蛤亦同樣受到此種溶液重大傷害，在第二、三日內死亡 70~80% 以上。四、在 1975 年 4 月 5 日嘉南地區曾降大雨，4 月 7、8 日養殖貝類又發生死亡事例。由以上實驗室結果，及現場調查所得之結論是：工廠所排出之廢水帶有強烈毒性物質，在乾季（每年十一月至次年四、五月）中沈積於河

床，每年春季初次大雨來時，即將累積於河床之有毒物質沖至河口，此為該地區淺海養殖貝類大量死亡之主因。

因為重金屬及農藥對人體之健康影響至大，為維護國民之健康，亦詳細檢討了重金屬與農藥與貝類死亡之關係。實驗後，發現：一、臺灣淺海牡蠣所含的汞、鉛、鎘、鎳、銅與鋅都在世界各國所訂食品標準規定以內。二、此等牡蠣體中並不含有 aldrin, endrin, heptachlor, heptachlor epoxide 等劇毒農藥，只有極微量之 DDT, BHC 及 dieldrin。三、在四月或五月牡蠣「危險季節」中，重金屬與農藥之含量，皆未見增加。四、異常死亡之牡蠣與殘存個體之間，不論是重金屬或農藥，其濃度並無差別存在。五、朴子溪河床底土雖然含有 γ -BHC, DDT 及 DDE 等有機氯劑農藥，但是其量不足對貝類產生急性毒性。由以上之實驗與調查結果，得知臺灣西南淺海養殖貝類之異常死亡，應與重金屬及農藥無直接關係存在；以殘存之貝類做為食用，至少沒有重金屬與農藥毒害之顧慮。

行政院農委會圖書室



0014484