

# 臺灣西南部沿海貝類暴斃環境因子之探討

## Investigations on the Environmental Factors Responsible for the Outbreak of Coastal Clam Death in Southwest Taiwan

國立臺灣大學農業工程學系訓教授

張 文 亮

Wen-Lian Chang

### 摘 要

本省西南沿海，近幾年來，貝類在每年四、五月間，時有暴斃。本文調查受害區域的氣象因子，並分析海水與底泥的化學因子，於1990年7月至1991年6月，每月採樣並分析一次。主成份分析用來區分顯著的影響因子，主要由樣本變異來判斷。結果顯示在貝類暴斃時，有溫度與降雨量的增加，並水體與底泥中氮濃度的增加，這些綜合因子，可能導致貝類的暴斃，所以氣象因子的改變與附近都市污水的排入可能是主因。

### ABSTRACT

The mass death of coastal clam in April and May in southwest Taiwan have been found during recent years. In this paper, climate information and chemical measurements from sea water and sediment near damage area were collected monthly from July 1990 to June 1991. The principal component method was used to identify significant factors among sample variabilities. Results showed that increasing temperature, precipitation, and nitrogen concentration near coastal area may act as combined factors to cause the mass death. In conclusion, climate change and domestic pollution from nearby ground maybe responsible for the mass clam death.

### 前 言

近二十年來，本省西南部近海的貝養殖區，在四月初旬至五月初旬，經常發生貝類集體暴斃。養殖漁民損失慘重外，可能部份受影響貝類，以直接或間接的方式進入食物鏈的最後消費者——人類的身上。以國家整體資源的角度，貝類的暴斃可能是近海域生態圈逐漸惡化的徵兆，值得深入的研究。

貝類與牡蠣的暴斃，除了在本省發生外<sup>(1)</sup>，在世界許多處都有類似的狀況，如美國的東部海岸<sup>(2)</sup>、丹麥、瑞典與挪威海岸<sup>(3)</sup>，而且發生的期間也是在五月，與臺灣發生的時間近似。

雖然貝類的暴斃可能是世界性的問題，但是真正導致原因仍不清楚，主要的原因有三：貝類在毒害情況下的生理機構仍待探討；在海域開放系統（open system）影響因子衆多，很難區分主要的影響因子；採樣之海域的空間變異性（spatial

variability) 難以評估, 以致不知需採多少水樣才具有代表性。

從生理而言, 已知的導致貝類死亡的原因也有幾個可能的途徑。貝類的體內無機鹽濃度與體外的海水濃度不同, 貝類的生存需賴細胞的滲透壓自調 (osmoregulation) 作用, 以控制離子在細胞膜內外的傳輸, 如果滲透壓失調會影響貝類的活動行為與生育發展, 更嚴重則破壞細胞膜的穩定性, 可迅速致貝類死亡。DeCoursey 與 Vernberg 氏 (1972) <sup>(4)</sup> 認為汞可以改變貝類鰓表皮細胞對於鈉離子的調節, 影響貝類的生存。Underdal 等氏 (1989) <sup>(5)</sup> 認為雙鞭藻 *Chrysochromulina polylepis* (Prymnesiophyceae) 所形成的紅潮, 能分泌一種以上的有機毒素, 在附近海域貝類的表皮細胞幾個小時內被破壞, 產生集體的暴斃。田中氏 (1986) <sup>(6)</sup> 與沼口等氏 (1987) <sup>(6)</sup> 認為低海水溫度 ( $<10^{\circ}\text{C}$ ) 與海水鹽分濃度的降低, 也可以影響滲透壓自調作用, 抑制貝類幼期的生育。

除了滲透壓失調會導致貝類死亡以外, O' Hara 氏 (1973) <sup>(7)</sup> 認為重金屬藉著食物鏈, 可以累聚在魚貝類的鰓、肝、腎與肌肉等組織內, 進而影響生理酵素的活動, 如過多的鎘 (Cd) 可使皮質素分泌失調, 促進呼吸速率, 長期下來, 易致生理枯竭。Mackay 與 Vernberg 氏 (1976) <sup>(8)</sup> 認為近海呈厭氧時, 水中氮化合物以  $\text{NO}_2^-$  與  $\text{NH}_4^+$  佔優勢, 滋生厭氧菌, 使貝類易患疾病。Vernberg 與 Vernberg 氏 (1974) <sup>(9)</sup> 認為底泥中重金屬可增加貝類體內重金屬累聚, 產生毒害。

由這些學者研究得知海水與底泥中之重金屬、紅潮、溫度、鹽度, 含氮量等都可能影響貝類生存。惟大多數學者常假設別的因素或環境固定, 祇偏重少數的一個或二個因子去探討。這在現場的海域, 可能需要修改研究的方法。因為海域是一個開放系統, 沿海中的任何化學濃度, 皆受海域附近的微氣象 (microclimate)、流入的河川淡水, 與海底的底泥影響, 所以要討論的不是簡化後的單變數 (univariate), 而是多變數 (multivariate) 的問題。而且這些影響因素都是動態的 (dynamic state), 有時間上的變異。

本研究是針對自然情況下影響貝類生存的是多變數, 所以用多變數統計的主成份分析 (Principal Component Analysis) 來區分出影響貝類暴斃

的主要原因。

## 材料與方法

### 1. 調查海域

所調查的海域, 範圍在曾經發生多次貝類集體暴斃的彰化縣外沿海, 以圖(一)示之。共選定10個地點, 除位置1與2係大肚溪下游與河口外, 其餘的位置3到10, 皆為近海養殖貝類的養殖區, 其中位置6與位置8略偏外海。

由民國79年7月至80年6月, 每月的初旬前往每一採樣點採海水樣與底泥樣各一次, 在近海的位置以步行下海採取, 在外海的位置則乘塑膠船採取。

### 2. 樣本採集方法

無論在岸上或海上, 水樣的採取以水採樣器採回足夠的升數。底泥的採取, 以深水式負壓採集器, 將約1公斤的底泥吸入管中。採樣後將樣本急速冷卻後, 再携回實驗室進行分析。由於採樣的位置相距遠, 交通亦不易, 採樣時間儘量是在漲潮期間, 惟有時在較遠的位置採到的是退潮時的海水樣。在海上定點採樣相當不易, 尤其在風浪大的日子, 塑膠船的搖擺, 採樣器受水流與浮力影響而搖盪不

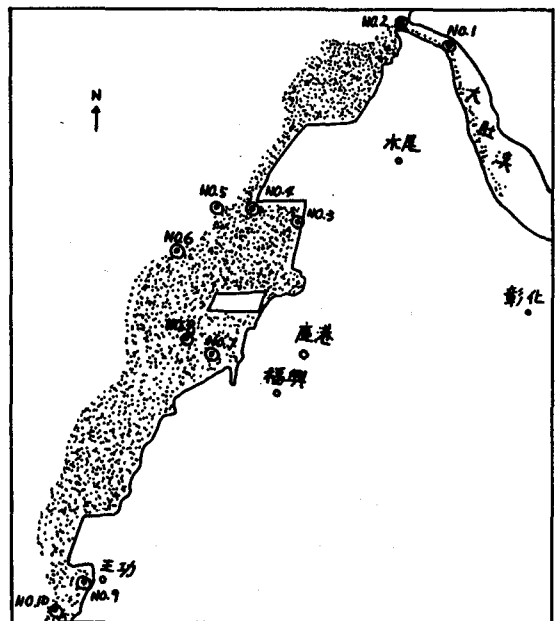


圖1. 採海水與底泥位置圖

定, 都可能增加採樣的誤差, 故在採樣工具上都經改良, 以加重重量的採水器與深水塑膠直管做底泥採樣。

### 3. 海水的化學分析

每一個海水樣品，根據美國水質檢驗標準方法 (Standard Method) <sup>(10)</sup>，測定14個水質項目：鹽度以手持屈折計現場測定；濁度以 Hach 2100A 型濁度計測定；溶氧以碘定量的疊氮化物修正法測定；生化需氧量以5日後水中消耗的氧量乘以稀釋倍數計算；化學需氧量以重鉻酸迴流法測定；氨氮以直接納氏法測定；亞硝酸氮以氨基苯磺酸法測定；硝酸氮以馬錢子鹼法測定，重金屬鎘、銅、鉻、鉛、鋅、汞則在水中加入吡咯烷二硫化氨基甲酸為螯合劑後再經甲基異丁基酮萃取至不同波長之原子吸收光譜儀測定。

### 4. 底泥的化學分析

根據美國農藝學會的土壤分析法 (1982) <sup>(11)</sup>，底泥測定11項化學分析：PH 以 1:1 的飽和抽出液經酸鹼度計測定；硫酸鹽以濁度法在分光光度計測之；總有機碳以濃硫酸氧化後重鉻酸鉀法測定；總有機氮以凱氏法測定；重金屬鎘、銅、鉻、鉛、鋅以強酸在 CEM MDS-81D 微波消化爐消化後，定量後以原子吸收光譜儀測定；汞是在強酸下消化後，冷卻再以原子吸收光譜儀測定；碳：氮比是以總有機碳除以總有機氮示之。

### 5. 微氣象資料

本研究以鹿港氣象局所測的民國52年至78年的平均風速、氣壓、氣溫，相對濕度，蒸發量與日照強度，為該沿海水域的微氣象資料。

### 6. 統計分析

主成份方法是將經過直線組合的原變數經過方差最大旋轉 (Varimax rotation)，產生一組數目較少的主成份變數，而且能保存原變數大部份的變異。本研究將海水分析，底泥化驗的結果與微氣象資料分開，以主成份個別運算。因為主成份方法的基本假設是變異數需具均質性 (homogeneous) (Afifi 與 Clark (1984) <sup>(12)</sup>)，為恐怕原變數的不同單位 (unit) 產生變異數的異質性 (heterogeneous)，原變數均以平均值為 0，變異數為 1 來標準化。因此所有主成份新變數的特徵值 (eigenvalues) 與特徵向量 (eigenvectors) 皆由標準化後原變數的相關矩陣 (correlation matrix)，而非變異數矩陣 (covariance matrix) 來推算。特徵值代表主成份變數的變異數，所以特徵值愈大代表該主成份變數愈具代表原變數的變異。特徵向量是組成主成份變數，各原變

數的直線係數，特徵向量的絕對值愈大代表主成份變數與該原變數愈具相關 (Johnson 與 Wichern 氏 (1982) <sup>(13)</sup>)。

理論上，主成份變數與原變數在數目上一樣多 Pratsinis 等氏 (1988) <sup>(14)</sup> 認為祇有特徵值大於 1 的主成份變數才具顯著變異代表性，因此可以篩選出較少數目的主成份變數來代表原變數。關於主成份變數與原變數之相關性顯著與否。Pratsinis 等氏 (1988) <sup>(14)</sup> 亦認為凡特徵向量的絕對值  $>0.7$  者，表示相關顯著，這可以成為篩選同一主成份變數內的原變數依據。

主成份分析亦可以用二度空間的第一主成份 (為 X 軸) 與第二主成份為 Y 軸，經過方差最大旋轉後，將樣本分類成為幾個羣 (group)。當然可以用三度空間甚至更多度空間的圖形來區分樣本，但因作圖不易，本研究皆以二度空間來表示。

本研究的主成份運算以 STAT VIEW (1988) <sup>(15)</sup>，圖則以 CRICKET GRAPH (1986) <sup>(16)</sup> 電腦軟體操作。

## 結果與討論

海水，底泥與微氣象資料經過主成份方法運算後，具有代表性的主成份變數分別列於表(1)、表(2)與表(3)。以第一主成份為 X 軸，以第二主成份為 Y 軸所畫的樣本分佈圖則以圖(2)、圖(3)、圖(4)與圖(5)示之。因為海水的化學變數可以區分為 4 個主成份變數，故圖(3)表示以海水第三主成份為 X 軸，第四主成份為 Y 軸的樣本分佈圖。

### 海水化學特性的區分

表(一)顯示海水化學 14 個變數可以由 4 個特徵值大於 1 的主成份變數代表之，不過主成份變數的總變異才佔原總變數的 56.4% (=21.4%+15.2%+10.4%+9.4%)，這也表示沿海海水化學特性在不同月份與採樣位置的變異性大。

第一個主成份與水中亞硝酸氮呈顯著的正相關。亞硝酸氮在自然水中的含量極低，在彰化的沿海却是最具變異代表性的因子，這是值得注意的。一般水中亞硝酸氮濃度低的原因是，水中的硝化細菌 (Nitrobacter) 可以迅速的將亞硝酸氮氧化成為硝酸氮，所以祇有抑制硝化細菌的活動才會有亞硝酸氮的累聚。抑制硝化細菌活動的原因有水呈弱氧還原性，水溫降低，pH 值低偏低 (pH < 5.3)，

氮的累聚與水中殺菌劑存在等因素 ( Alexander (1977) (17) )。海水的 pH 呈弱鹼性，故非 pH 值偏低的原因，有機殺菌劑在本研究中未檢測。由圖(2)顯示，亞硝酸氮累聚是在一月與二月，那是溫度較低的季節，所以低溫以致抑制硝化菌可能是原

表 1. 彰化沿海民國79年7月至80年6年海水化學的主成份特徵向量與特徵值

變數	主成份 1	主成份 2	主成份 3	主成份 4
鹽度	-0.289	-0.629	-0.121	-0.248
濁度	-0.071	0.076	0.160	0.846*
氨氮	0.023	0.795*	-0.129	0.055
亞硝酸氮	0.852*	0.051	-0.063	-0.080
硝酸氮	-0.083	0.086	-0.119	0.852*
溶氧	0.145	0.046	0.033	-0.125
生化需氧量	0.014	0.622	-0.032	-0.127
化學需氧量	-0.049	-0.006	0.936*	0.025
鎳	-0.022	0.065	0.100	0.028
銅	-0.085	0.559	0.387	0.054
鉻	0.774*	0.072	0.022	-0.059
鉛	-0.009	-0.057	0.270	0.238
鋅	-0.235	-0.035	-0.135	0.242
汞	0.644	0.050	-0.074	-0.042
特徵值	2.991	2.122	1.461	1.320
%變異	21.4	15.2	10.4	9.4

\* 號表示經旋轉後的特徵向量 >0.7

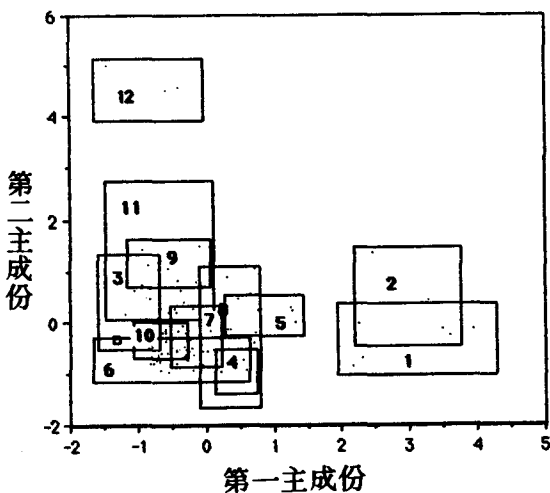


圖 2. 海水水質各月份之第一與第二主成份區分圖

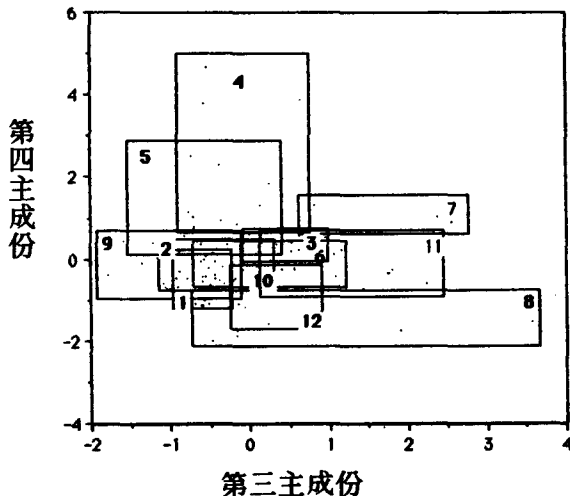


圖 3. 海水水質各月份第三與第四主成份區分圖

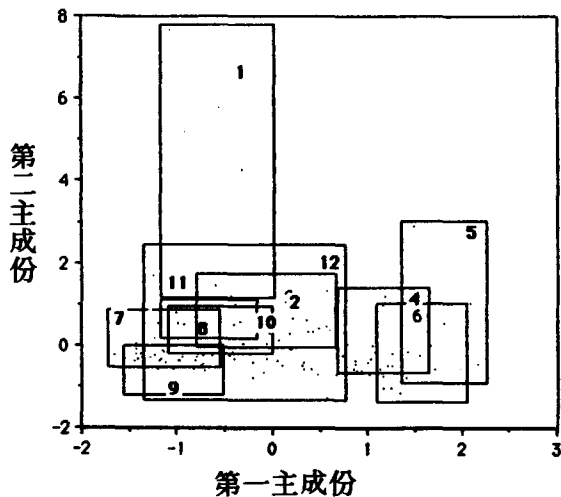


圖 4. 海水底泥各月份第一與第二主成份區分圖

因之一。另外氨氮與第二主成份呈顯著正相關 (表 (1))，而且主要產生的月份是在12月份至2月份的當中 (圖(2))，因此海水中氨氮偏高也可能抑制硝化菌的活動。第四主成份與水中的硝酸氮呈最顯著正相關。由圖(3)顯示硝酸氮的累聚主要在四月份。由此可以清楚的推論，彰化沿海海水最大的特徵是溶解性氮化合物的增加，在12月至2月期間是氨氮與亞硝酸氮，在四月是硝酸氮，這也表示到了溫度較高的四月，抑制硝化菌活動的環境因子消失，硝化菌行硝化作用將亞硝酸氮與氨氮氧化成爲硝酸氮。

第一主成份另與重金屬鉻呈正相關，第三主成

份與化學需氧量呈正相關，第四主成份另與水中濁度呈正相關。影響水中濁度的原因很多，可能是懸浮性無機膠質粒，有機殘餘與水中懸浮性藻類。圖(3)顯示有機殘餘(以化學需氧量代表)累聚主要是在七月與八月，而濁度增加在四月與五月，所以非有機因子導致。懸浮性無機膠粒與藻細胞數在本研究中沒有檢測，故無法進一步判斷產生濁度的原因。但是沿海養殖漁民，聲稱四月與五月初旬有紅潮產生，也許是導致濁度增加的原因。

### 海水底泥特性區分

底泥化學的12個變數可以由主成份分析減少成3個主成份變數(表(2))。主成份變數的總變異量為原變異量的60.7% (=28.4%+22.2%+10.1%)，表示底泥的化學變異略低於海水。

表 2. 彰化沿海民國78年7月至民國79年6月底泥化學的主成份特徵向量與特徵值

變數	主成份 1	主成份 2	主成份 3
酸鹼度	0.286	0.016	-0.697
硫酸鹽	-0.004	-0.026	0.786*
電導度	-0.058	0.215	0.722*
總有機碳	0.331	0.717*	0.166
總有機氮	-0.809*	-0.027	0.322
碳/氮	0.685	0.482	-0.196
鎘	0.822*	0.126	0.016
銅	0.096	0.687	0.199
鉻	0.163	-0.066	-0.034
鉛	-0.040	0.124	0.093
鋅	0.047	0.903*	0.005
汞	0.851*	0.021	-0.047
特徵值	3.409	2.668	1.216
%變異	28.4	22.2	10.1

\* 號表示經旋轉後的特徵向量 >0.7

第一主成份顯著的底泥中的汞與鎘有正相關，另與底泥中的有機氮呈顯著的負相關。過去已有很多的中外學者探討汞與鎘對於貝類或牡蠣的毒性，如陳氏與秦氏(民國72年)<sup>(18)</sup> George等氏(1983)<sup>(19)</sup>，因為這二種重金屬對於最後消費的人類具有劇毒。所以表(2)的汞與鎘很容易成為注意的焦點，如此反而偏差了真正關鍵的因素。表(2)顯示的底泥有機氮與第一主成份呈顯著的負相關，可能

在學理上才是重要的線索來探討更基本的原因。另外硫酸鹽亦與第三主成份呈顯著正相關。因為當底泥溫度較高又有足夠的溶氧之下，底泥中的有機氮硝化成為硝酸鹽，非溶解態轉成溶解態，因此有機氮濃度降低；另外有機硫氧化成硫酸鹽，這兩個氧化作用過程中都釋放氫離子，酸化底泥，這等於增加底泥重金屬汞、鎘、鋅(與第二主成份有顯著正相關)。

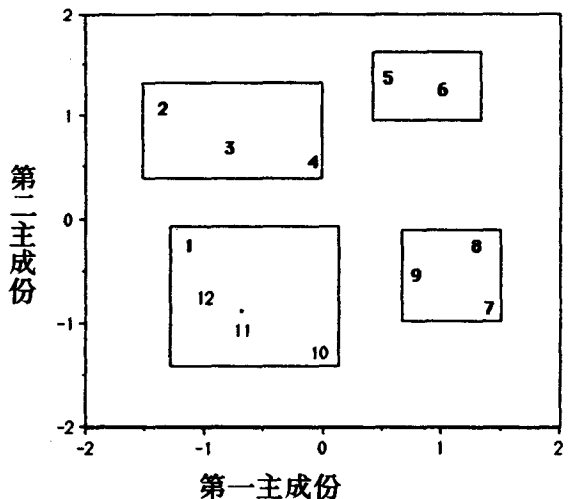
由圖(3)看來第一主成份佔較高比例仍在4月、5月與6月期間。

由此可知彰化海域海水與底泥的性態最特別的是含氮化合物。當四月時底泥的有機氮氧化成硝酸鹽，海水中的硝酸鹽也增加。

表 3. 鹿港地區民國52年至民國78年氣象因子平均值的主成份特徵向量與特徵值

變數	主成份 1	主成份 2
風速	-0.953*	-0.247
氣壓	-0.993*	-0.081
溫度	0.984*	-0.105
相對濕度	0.061	0.976*
降雨量	0.808*	0.522
蒸發量	0.952*	-0.249
日照	0.761*	-0.602
特徵值	5.004	1.729
%變異	71.5	24.7

\* 號表示經旋轉後的特徵向量 >0.7



圖(5) 各月份氣象資料第一與第二主成份區分圖

底泥中的總有機碳也與第二主成份有正相關，底泥電導度與第三主成份有正相關。

#### 微氣象特性區分

微氣象 7 個變數可由 2 個主成份變數代表之，且有 96.2% (=71.5%+24.7%) 的原變異數 (表(3))。圖(5)顯示以第一主成份與第二主成份可以清楚區分樣本。重要的是四月與五月是該區域溫度與降雨量增加，而風速減少的季節。

#### 貝類暴斃的原因探討

綜合上述的結論，導致貝類暴斃的原因是溫度在 4~5 月間的增加，促進硝化作用，結果水中有較高濃度的硝酸氮，提供紅潮生長的營養源。另外因著底泥的硝化進行，促進重金屬汞與鎘的有效性。紅潮與重金屬汞、鎘對貝類都有毒害，而且都在 4~5 月間顯著存在，所以本研究尚待進一步的實驗才能確定是紅潮還是重金屬，但是確定的基本導因是溫度的升高與含氮化合物的增加。

氮化合物來自內陸的污染，尤其是來自大肚溪沿岸的垃圾與排入海水的有機廢水

### 謝 誌

本研究計畫，承蒙基隆水產試驗所「大肚溪河口附近水產養殖區水體環境調查分析」此一計畫的經費補助，執行期間，農業工程研究中心環境組劉玉雪小姐、李寶鍾先生與吳浚霖先生在分析與採樣，所花費的精神與力量，若干採海水與底泥，在大浪之時，幾乎冒着生命危險，完成採樣，在此敬致謝忱。水產試驗所的劉文御先生提供許多寶貴資料，黃振昌先生對研究的關心協助，此致由衷敬謝。

### 參 考 文 獻

1. 鄭森雄，民國64年，臺灣西南沿海養殖貝類大量死亡原因之研究，中國農村復興聯合委員會漁業專輯第18號
2. White, A. W. 1988, Recent unusual events on the East Coast of North America. Red Tide News 1. p 1-3.
3. Underal, B., Skulberg, O. M., Dahl, E and Aune, T. 1989. Disastrous bloom of *Chrysochromulina polylepis* (Prymnesiophyceae) in Norwegian coastal waters 1988-mortality in marine biota. AMBIO vol.18 No. 5 p. 265-270.
4. DeCoursey, P. J. and W. B. Vernberg. 1972. Effect of mercury on survival, metabolism and behavior of larval *Uca pugilator* (Brachyura). Oikos 23: 241-247.
5. 田中彌太郎，1986. ハマグリ幼生の沈著におよぼす水溫の影響。Bull. Natl. Res. Inst. Aquaculture. No. 9. p. 45-49.
6. 沼口勝之，田中彌太郎，1987. ハマグリ初期稚貝の成長におよぼす水溫および塩分の影響，Bull. Natl. Res. Inst. Aquaculture No. 11. p. 35-40.
7. O' Hara, J. 1973. Cadmium uptake by fiddler crabs exposed to temperature and salinity stress. J. Fish. Res. Bd. Canada. vol. 30. p. 846-848.
8. Burton, J. D. and P. S. Liss. 1976, Estuarine chemistry. Academic Press.
9. Vernberg, F. J. and W. B. Vernberg. 1974. Pollution and Physiology of Marine Organisms. Academic Press.
10. American Public Health Association 1985. Standard Method. Sixteenth edition
10. American Public Health Association. 1985. Standard Method. Sixteenth edition.
11. American Society of Agronomy. 1982. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Second edition.
12. Afifi, A. A., and V. Clark. 1984. Computer-aided multivariate analysis. Lifetime Learning Publ. Belmont, CA.
13. Johnson, R. A., and D. W. Wichern. 1982. Applied Multivariate Statistical Analysis. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J.
14. Pratsinis, S. E., M. D. Zeldin, and E. C. Ellis. 1988. Source resolution of the fine carbonaceous aerosol by principal

component-stepwise regression analysis. Environ. Sci. Technol. vol. 22. p. 212-216.

15. Feldman, D', and J. Gagnon. 1988. statview 512+. Brainpower Inc.,

16. Rafferty, J., and R. Norling. 1986. Cricket Graph. Cricket software.

17. Alexander, M. 1977. Introduction to Soil Microbiology. John Wiley & Sons.

18. 陳建初、秦宗顯，民國72年，永在牡蠣體內之蓄積與排出，臺灣水產學會刊，第十卷，第二期，42—47頁。

19. George, S. G., B. J. S. Pirie and J. M. Frazier. 1983. Effects of cadmium exposure on metal-containing amoebocytes of the oyster *Ostrea edulis*. Marine Biology. vol. 76. p. 63-66.

收稿日期：民國80年12月13日  
 修改日期：民國80年12月27日  
 接受日期：民國81年 6月 2日



# 高益工業股份有限公司

球狀石墨鑄鐵管及管件(自來水用及瓦斯用)

雙頭法蘭管 特殊合金鑄件 球狀石墨鑄鐵鑄件

台北市南港區三重路二一巷二四弄一號

TEL: (02)7832121~3 FAX: (02)7836719

## 營業項目

1. 國內外土木工程業務。
2. 國內外建築工程業務。
3. 國內外河海工程業務。
4. 國內外建廠工程業務。
5. 自來水、電氣、空調及油、氣、水管線工程業務。
6. 重機械及其有關施工設備之修理及出租。
7. 運輸業務及車輛修理。
8. 地質鑽探、材料試驗、土壤試驗及水質檢驗業務。
9. 代辦政府計劃工業區之開發及發展社區工程業務。
10. 代辦管建工程之管理。
11. 代辦海上運輸業務及其他有關本公司業務之代理。
12. 廢棄物清除處理、廢水廢氣處理及測定定檢驗等有關公害防治業務。
13. 預拌混凝土、瀝青混凝土、碎石料、預鑄水泥製品等產銷業務。
14. 其他有關管建工程業務。

## 中華工程股份有限公司

負責人：陳朝威  
 地址：台北市忠孝東路4段320號  
 電話：(02)7521111-30