

# 矽藻對重金屬銅、鎘、汞、鋅累積作用 之研究

江章·周賢鏘·丁雲源

## Studies on the Accumulation of Copper, Cadmium, Mercury and Zinc in *Skeletonema costatum*

Chang Jiang, Shiarn-Chiang Chou and Yin-yuan Ting

*Skeletonema costatum* is one kind of phytoplankton-feeder and has widely been used as food of penaeids larvae. The paper mainly studies on the effects of Cu, Cd, Hg, Zn, with different concentrations in different accumulated duration on *Skeletonema costatum*. Expecting setting an indicator for the safety of aquatic animals larvae culturing. The results state as follows:

- 1 The results showed the ability of heavy metal accumulation in *Skeletonema costatum*, Zn is the highest, Cd is the lowest, the accumulated values of Zn, Cu, Hg, Cd, respectively, 186.4 - 597.1 ug/g dry wt., 13.8 - 45.2 ug/g dry wt., 23.0 - 38.8 ug/g dry wt. and 6.2 - 20.1 ug/g dry wt.
- 2 The higher concentrations of heavy metal treated in culture water, the higher accumulated values got and showed severely in higher concentrations. The growth of Cu and Cd was good in the concentration of 0.1 ppm, but that was suppressed in 0.025 ppm of Hg and 0.5 ppm of Zn.
- 3 Different accumulated duration had no significant variance in accumulated values. Most of the algae reached the highest accumulated values in each group within 12 hrs.
- 4 The CF values of this species appeared various according to different heavy metals and concentrations treated. The CF values of Hg, Zn, Cu, Cd, is  $10^4 - 10^5$ ,  $10^4$ ,  $10^2 - 10^3$  and  $10^2 - 10^3$  respectively. CF values of the algae increased in Zn, Cu, Cd, groups when the concentrations of these heavy metals increase in sea water, but it did not happen in Hg group.

### 前 言

矽藻 (*Skeletonema costatum*) 爲一生長迅速之藻種，於良好光照下，室外大量培養 1 - 2 天即可達  $50 - 100 \times 10^3$  cells/cc 之密度 (廖 1969)，爲一常被利用爲魚蝦貝類人工繁殖初期餌料之藻種，且該藻種在本省高雄港附近，春末至冬初均可採集到，故自廖等 (1968 ~ 1969) 確立草蝦、斑節蝦、砂蝦人工繁殖技術以來，矽藻更廣泛應用於蝦類人工繁殖，以作爲蝦苗眼幼蟲期之生物餌

料，但近年來，此期蝦苗幼生常有大量死亡現象發生（陳 1981、陳 1981）其原因很多，但都以水質管理、矽藻品質及重金屬污染為重要因素。目前本省河川遭受工業廢水污染已日趨嚴重（鄭等 1975）而工業廢水之污染原（pollutant）種類雖很多，但仍以重金屬造成之毒害最為迫切，此種情形導致河口及沿岸水族環境受到嚴重破壞，也直接影響了魚蝦貝類繁殖用水之安全性。據陳等 1981 年調查中洲等地繁殖用水重金屬含量，發現已有嚴重污染情形，高雄港附近海水重金屬含量竟高出正常海水之 5 - 250 倍，因此重金屬污染對水產生物生存環境所造成的威脅已不容忽視。

而重金屬之毒性又會因食物鏈之生物濃縮而增強，如日本及瑞典曾經發現重金屬鎘、汞經由食物鏈之生物累積對人體造成不良影響之病例（Hung et, al 1978. Förstner & Wittmann 1979, Nomiya 1975）。一般而言，海洋中微細藻類及水產生物對重金屬均具有很強之累積能力，而藻類本身對金屬元素之吸收不具調節作用，故藻類中金屬元素之含量亦可做為環境中金屬元素狀態之指標（謙谷 1979）。本試驗則針對矽藻中銅、鎘、汞、鋅等重金屬累積量及不同濃度、時間之蓄積情形，作一初步瞭解，期為該藻種應用於魚蝦貝類幼生初期餌料安全性之參考。

### 材料與方法

#### 一、藻種培養：

本試驗使用藻種為 *Skeletonema costatum*，由繁殖場取回後經數次培養，以確定無其他藻類污染時，試驗前再將收集之藻種以濾淨之海水重覆清洗數次，並以濾淨之海水混合均勻，以供接種用。本藻種於培養期間測定用水及藻體重金屬含量如表 1 所示，每克乾藻種中含重金屬鎘為 0.4178 mg、銅為 0.0308 mg、汞為 0.0297 mg、鎘為 0.0127 mg。

表 1 各組重金屬濃度分配表

Table 1 Distribution of concentration in each group of heavy metal

Conc. (ppm)	Group	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
		concentration 1	concentration 2	concentration 3
Heavy metal				
	Cu	0.001	0.010	0.100
	Cd	0.001	0.010	0.100
	Hg	0.001	0.005	0.025
	Zn	0.020	0.100	0.500

#### 二、蓄積培養與收集：

蓄積培養中，各培養液之營養鹽（medium）依每噸海水中添加 KNO<sub>3</sub> 100 g、Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 12H<sub>2</sub>O 10g、Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> 10g 及 FeCl<sub>3</sub> 5g 比例施肥，試驗時不加 EDTA，以免吸附過量之重金屬，影響蓄積結果，本試驗使用之重金屬化合物為 HgCl<sub>2</sub>、CuSO<sub>4</sub>、ZnCl<sub>2</sub>、CdCl<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O，分別先配製成 1000ppm 之重金屬離子母液（stock soln.），再依試水量配製成表 2 中之試驗濃度，同時以不添加重金屬組為對照組，並接種同量混合均勻之藻種，進行蓄積培養，蓄積期間為 2 天，並分別在 12、24、36、48 小時各以浮游生物網（nytal p-30 made in Switzerland）收集藻

種，以供測定。試驗同時並紀錄水溫、照度（ANA model 100，東京光電株式會社）以供參考。

表 2 蓄積前原藻種及水質含重金屬銅、鎘、汞、鋅之量  
Table 2 The contents of Cu, Cd, Hg, Zn in sea water and alga before test

Heavy metal	Conc. of sea water (ppm)		Conc. of Alga (mg/g dry wt.)	
	range	$\bar{X}$	range	$\bar{X}$
Cu	0.032 - 0.045	0.038	0.0138 - 0.0452	0.0308
Cd	0.040 - 0.052	0.045	0.0062 - 0.0201	0.0127
Hg	ND* - 0.0006	0.00025	0.0230 - 0.0388	0.0297
Zn	0.050 - 0.075	0.062	0.1864 - 0.5971	0.4178

ND\* : under detectable.

### 三、試驗前處理與分解：

收集後之藻體先以蒸餾水洗滌數次，取出藻體以 80 ~ 85 °C 烘乾至恒定量（西澤一俊 1979），汞組則以 50 ~ 60 °C 烘乾（Reúchiro 等 1979）再測其藻體乾重。Cu, Cd, Zn 組之藻體以濃硫酸及 1 : 2 濃硝酸進行高熱分解，至分解液變成無色或微黃橙色之澄清液為止，俟冷卻後稀釋定容以備分析。汞組試樣則以 1 : 1 濃硫酸及 6 w/v %  $\text{KMnO}_4$  在低溫（50 ~ 60 °C）下分解，直至  $\text{KMnO}_4$  之顏色不再消失，溶液呈澄清後，加入數滴  $\text{NH}_4\text{OH}$ 、 $\text{HCl}$  將過量之  $\text{KMnO}_4$  還元，此時溶液為透明無色，俟冷卻稀釋定容以備分析（HITACHI 1974）另本試驗中水樣之前處理依陳（1981）水質分析方法，試水採樣後即加入濃硝酸使試水之 pH 值降至 1 左右。

### 四、試樣測定及分析：

銅、鎘、鋅組試樣分解後直接以原子吸光分析儀（Atomic Absorption Spectro photometer, HITACHI model 170 - 40）測定。汞組試樣則以無焰法（Flameless A.A. method）用汞附件（Mercury Reduction Unit HITACHI model 207 - 2090）測定，測定同時先以各重金屬之標準溶液，（Standard metal soln. 日本林純株式會社出品）作出標準曲線。依此曲線濃度與吸光度關係求出各試樣之重金屬濃度，再由藻體重量、稀釋倍數、取樣體積等計算出藻體每克乾重中所含重金屬量，即可得蓄積量。

## 結 果

試驗結果，矽藻在各重金屬濃度下之生長情形，如表 3 所示，由表中不難看出在本試驗中 Cu, Cd 0.001 ~ 0.1 ppm 組、Zn 0.02 ~ 0.1 ppm 組、Hg 0.001 ~ 0.005 ppm 組，矽藻生長情形雖有變化，但在同一時間內，各組並無顯着差異，但在 Hg 0.025 ppm 組及 Zn 0.5 ppm 組則由表可以明顯看出，其生長值均顯着降低，尤其 Zn 0.5 ppm 組幾乎無法生長。

蓄積結果如表 4 所示，最低濃度組 Cu, Cd, Hg 0.001 ppm、Zn 0.02 ppm 時，矽藻對鋅之蓄積量為 0.4621 ~ 0.7142、汞為 0.0330 ~ 0.0726、銅為 0.0321 ~ 0.0345、鎘為 0.0170 ~ 0.0298 與原藻種重金屬含量表 1 中，鋅 0.478、銅 0.0308、汞 0.0297、鎘 0.0127 比較，增加情形並不顯着，但若濃度較高時，蓄積量即增加甚多，如表 4 中 Cu, Cd 0.01 ppm 組，蓄積量分別為 0.0875 ~ 0.2155

表3 矽藻不同濃度重金屬蓄積期間之生長情形

Table 3 The Absorbance values of *Skeletonema costatum* in different treated concentration of heavy metal at different duration

Conc. of heavy metal (ppm)	Abs. 390	Culture time (hrs)				
		0	12	24	36	48
Hg	0.001	0.003	0.046	0.045	0.075	0.062
	0.005	0.003	0.065	0.042	0.060	0.065
	0.025	0.003	0.021	0.021	0.048	0.048
Cu	0.001	0.003	0.055	0.050	0.081	0.071
	0.010	0.003	0.060	0.040	0.070	0.070
	0.100	0.003	0.058	0.038	0.065	0.059
Cd	0.001	0.003	0.058	0.041	0.057	0.038
	0.010	0.003	0.048	0.042	0.072	0.065
	0.100	0.003	0.069	0.040	0.064	0.067
Zn	0.020	0.003	0.050	0.055	0.064	0.065
	0.100	0.003	0.046	0.052	0.055	0.042
	0.500	0.003	0.025	0.019	0.010	0.018
Control		0.003	0.050	0.045	0.079	0.070

表4 不同濃度、時間，矽藻對銅、鎘、汞、鋅之蓄積情形

Table 4 Average accumulated values of Cu, Cd, Hg and Zn groups on *Skeletonema costatum* at different duration

Accumulated value (m/g dry wt)		Culture time (hrs)			
		12	24	36	48
Heavy metal groups					
Cu	Control	0.0251	0.0334	0.0353	0.0366
	C <sub>1</sub>	0.0345	0.0321	0.0323	0.0359
	C <sub>2</sub>	0.1477	0.0875	0.0937	0.2155
	C <sub>3</sub>	0.8090	0.6649	0.5225	0.5889
Cd	Control	0.0125	0.0210	0.0126	0.0186
	C <sub>1</sub>	0.0298	0.0246	0.0200	0.0170
	C <sub>2</sub>	0.0445	0.0412	0.0895	0.1441
	C <sub>3</sub>	0.3461	0.3049	0.3946	0.8659
Hg	Control	0.0277	0.0333	0.0364	0.0348
	C <sub>1</sub>	0.0726	0.0527	0.0330	0.0565
	C <sub>2</sub>	0.1279	0.0702	0.0662	0.1235
	C <sub>3</sub>	0.3919	0.2970	0.2623	0.1827
Zn	Control	0.6174	0.7100	0.4954	0.6220
	C <sub>1</sub>	0.7142	0.5437	0.4621	0.6226
	C <sub>2</sub>	1.7759	1.2379	2.6591	2.6870
	C <sub>3</sub>	19.3413	14.9494	13.0167	11.0585

、0.0412 ~ 0.1441 約為原藻種之 3 - 12 倍。而銅 0.1 ppm 組蓄積量達 0.5225 ~ 0.8090，鎳蓄積量達 0.3049 ~ 0.8659，均比原藻種高出甚多，鋅組 0.1 ppm 蓄積量為 1.2379 ~ 2.6870，約為原藻種之 3 ~ 6.5 倍，當添加濃度為 0.5 ppm 時，蓄積量高達 11.0585 ~ 19.3413，比原藻種增加 26.5 ~ 45.3 倍。而汞組當濃度改變時其蓄積量之改變並不如其他元素明顯，但其蓄積量仍隨濃度增加而增加，如表 4 中汞濃度 0.005 ppm 組蓄積量 0.0662 ~ 0.1279，0.25 ppm 組蓄積量為 0.1827 ~ 0.3919，約為原藻種之 6.2 ~ 13.2 倍，又由表 4 可知 Cu 組在同一濃度時，其蓄積量雖因時間不同而有變化，但變化幅度並不大，只在 0.01 ppm 組 48 小時有較高之蓄積量約為 12 - 36 小時之 2 倍左右。而汞與鋅組蓄積量則有隨時間增加而稍微減少之趨勢，但在 48 小時又會有回升之現象，此現象出現在低濃度時。至於鎳組在高濃度時則蓄積量有隨時間增加而增加之趨勢。但概言之，各組之蓄積量雖因蓄積時間而有不同，但變化幅度可以說不大，且蓄積量除鎳組外，大都在 12 小時已達蓄積高峯。

上述結果進一步以 2 項變方分析 (Two way ANOVA Analysis) 結果如表 5，亦可明顯得知，蓄積時間對蓄積量之影響並不顯著，但濃度對蓄積量則有極顯著之影響，亦即矽藻對重金屬 Cu、Cd、Hg、Zn 之蓄積量受環境中重金屬濃度之影響比蓄積時間之影響更為顯著，同時，時間與濃度交互作用對蓄積量之影響並不顯著。

表 5 銅、鎳、鋅、汞各組間時間、濃度與蓄積量之 2 次變方分析

Table 5 ANOVA table describing the interactions of accumulated values between time and concentration for *Skeletonema costatum*

Heavy metal	Source of variation	df	SS	MS	FS
Cu	time	3	0.0578	0.01926	1.40
	concentration	3	4.1308	1.37695	100.32 **
	time × conc.	9	0.6177	0.01886	1.37
Cd	time	3	0.0016	0.00054	0.04
	concentration	3	2.3306	0.77685	52.38 **
	time × conc.	9	0.0085	0.00095	0.06
Hg	time	3	0.0108	0.00360	0.48
	concentration	3	0.6267	0.20890	27.96 **
	time × conc.	9	0.0152	0.00169	0.23
Zn	time	3	3.7777	1.25924	0.24
	concentration	3	2209.1600	736.38800	142.67 **
	time × conc.	9	11.8010	1.31123	0.25

\* \* highly significant.

爲更進一步了解蓄積量與濃度變數之關係，因此將表4之數據加以整理以供最小顯着差測驗 (L.S.D 測驗)，發現Cu組0.01、0.001 ppm及對照組間無顯着差異，但與0.1 ppm組均有極顯着差異。Zn 0.5 ppm組與其他各組間均有顯着差異，且在48小時0.1 ppm組與其餘各組亦有極顯着差異。Cd組與Zn類似，除0.1 ppm組與其餘各組間均有極顯着差異外，48小時時0.01 ppm組與其餘各組也有極顯着差異。Hg組0.025 ppm組與其餘各組有極顯着差異，48小時0.005 ppm組與其餘各組差異亦顯着。此結果顯示，矽藻對重金屬Cu、Cd、Hg、Zn之蓄積濃度低時，其累積金屬量並無很大改變，但在濃度高時則會顯着增加，且在Cd及Zn兩組，蓄積量與濃度間之差異會因蓄積時間之增加而在低濃度間顯着。

又試驗結果依下列公式加以轉化，亦可得矽藻在各重金屬不同濃度蓄積下之生物濃縮因子 (Concentration Factors) 變化情形。C.F. =  $\frac{\text{藻體重金屬累積量} (\mu\text{g/g dry wt})}{\text{海水中重金屬含量} (\text{ppm})}$ ，由表6及表7可知，矽藻對此4種金屬之累積倍數以汞爲最高達 $10^4 \sim 10^5$ 倍，銻次之在 $10^4$ 左右，銅、鎘較低爲 $10^2 \sim 10^3$ 之間。又由表中亦可明顯看出，在Cu、Cd及Zn 3組均有共同傾向，即C.F.值隨着海水之金屬濃度增加而增加，但汞則情形不同，海水中汞含量增加，其累積倍數反而有降低之趨勢。

表6 矽藻在銅、鎘各組之蓄積量對各蓄積海水之生物濃縮因子 (C.F.)  
Table 6 Average accumulated values and CF values in each Cu, Cd group

groups	Cu			Cd		
	sea water (ppm)	alga (mg/g dry)	C.F. $\times 10^3$	sea water (ppm)	alga (mg/g dry)	C.F. $\times 10^3$
C <sub>1</sub>	0.038	0.0337	0.887	0.052	0.0229	0.440
C <sub>2</sub>	0.049	0.1362	2.778	0.105	0.0798	0.760
C <sub>3</sub>	0.128	0.6463	5.049	0.190	0.4779	2.515
control	0.042	0.0326	0.776	0.050	0.0162	0.324
before test	0.038	0.0308	0.811	0.045	0.0127	0.282

## 討 論

汞高濃度時會使藻類染色體產生異常現象，有絲分裂受到干擾而消失，亦能破壞粒腺體之正常功能。銻爲參與光合作用CO<sub>2</sub>固定中之元素 (Levid, R.A. 1962) 但濃度過高時則有強烈毒性作用產生，本試驗中亦發現汞0.025 ppm時，矽藻之生長即受到明顯抑制，銻0.5 ppm時即幾乎無法生長。而銅、鎘0.1 ppm時對矽藻之生長仍無影響，因此就矽藻而言仍以汞毒性作用最強。又本試驗中，矽藻在24小時及48小時之生長情形均比12小時及36小時略低，此種情形可能因本試驗於室外進行，由圖1中12~24小時 36~48小時間光照均爲0，矽藻無法進行光合作用，以致生長停頓所致，但此種情形，由本試驗中得知，對重金屬之蓄積量並無顯着影響，由此可見，光照爲影響矽藻生長之重要因素，但對重金屬蓄積量之影響並非一重要因子。

表7 矽藻在汞、鋅各組之蓄積量對各蓄積海水之生物濃縮因子 (C.F.)

Table 7 Average accumulated values and CF values in each Hg, Zn group

groups	Hg			Zn		
	sea water (ppm)	alga (mg/g dry)	C.F. $\times 10^4$	sea water (ppm)	alga (mg/g dry)	C.F. $\times 10^4$
C <sub>1</sub>	0.002	0.0537	2.685	0.092	0.5866	0.638
C <sub>2</sub>	0.004	0.0930	2.425	0.185	2.0900	1.130
C <sub>3</sub>	0.026	0.2835	1.090	0.620	14.5915	2.354
control	ND*	0.0331	nc.**	0.060	0.6112	1.019
before test	0.00025	0.0297	11.880	0.062	0.4178	0.674

\*: under detectable.

\*\* : not comparable.

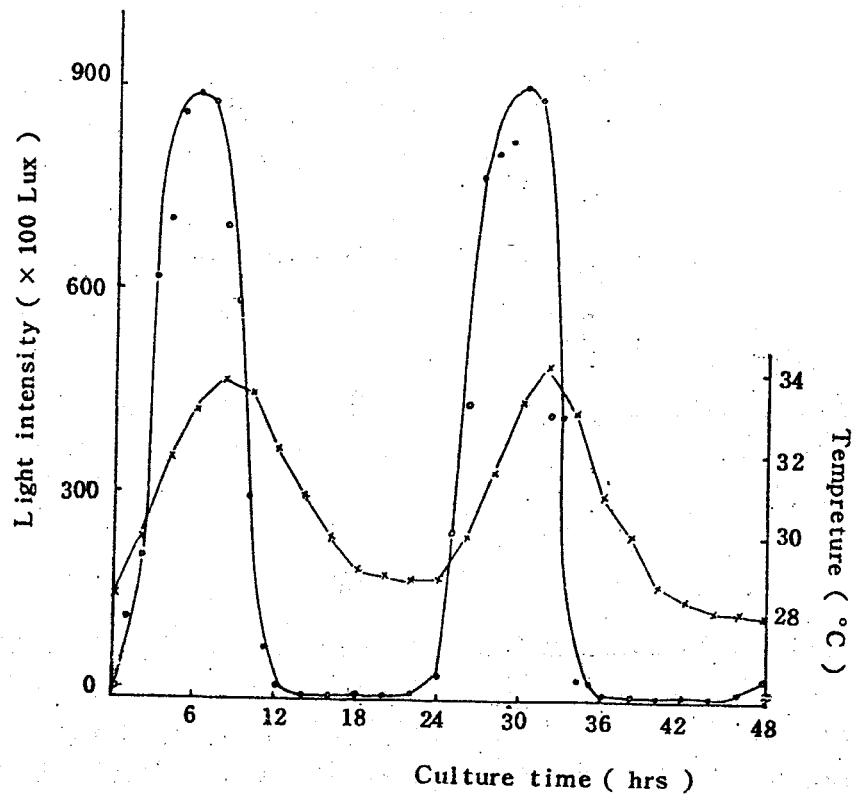


圖1 蓄積期間光照與水溫變化情形

Fig. 1 The relationship between light intensity values, tempreature and culture time.



一般而言，海洋浮游藻類能累積微量元素，重金屬 $10^2 \sim 10^6$ 倍於周圍海水，而其累積量之大小受受藻種、重金屬種類、生長環境、營養成分之不同而有不同變化。本試驗中矽藻對重金屬之蓄積量亦因元素不同而有差異，以鋅之蓄積量最高，汞、銅次之，鎳最低，而且當海水中金屬濃度增加，蓄積量亦會隨之增加，因此如以受到重金屬污染之水源培養矽藻，即有可能對攝食之水產生物幼生造成間接影響。又重金屬銅、汞、鎳、鋅等4種元素對水產生物之毒性，雖因生物種類而有不同，但一般均以汞之毒性最強，銅、鎳次之，鋅較低，且汞之毒性遠化其他重金屬毒性強烈甚多，世界糧農組織（FAO 1971）亦將汞劃分為第1級污染質，毒性最強。因之本試驗中雖然鋅之蓄積量最高，但就毒性而言，仍不似蓄積量次之之汞來得重要，且汞之累積量高達 $10^5$ 倍於周圍海水，為4種元素中最高者，值得注意。

### 摘 要

本文主要探討海洋中常見浮游藻類—矽藻（*Skeletonema costatum*）在銅、鎳、汞、鋅等重金屬之蓄積情形。及不同濃度、時間對蓄積量之影響，期為應用該藻種於魚蝦貝類幼生初期餌料安全性之參考，試驗結果如下：

- 一、一般情形，矽藻累積重金屬量以鋅為最高，論 $186.4 \sim 597.1 \mu\text{g/g dry wt}$ 、銅 $13.8 \sim 45.2 \mu\text{g/g dry wt}$ 及汞 $23.0 \sim 38.8 \mu\text{g/g dry wt}$ 次之，鎳累積量最低為 $6.2 \sim 20.1 \mu\text{g/g dry wt}$ 。
- 二、當海水中重金屬濃度增加時，矽藻對此4種元素之蓄積量會隨濃度增加而增加。且在濃度愈高時，增加情形更顯着。但汞濃度達 $0.025 \text{ ppm}$ 、鋅濃度達 $0.5 \text{ ppm}$ 時，矽藻之生長即受到強烈抑制，而銅及鎳在 $0.1 \text{ ppm}$ 時對矽藻之生長仍無影響。
- 三、不同蓄積時間對矽藻重金屬蓄積量並無顯着影響，而且大都在12小時前已達到蓄積高峯。
- 四、矽藻對重金屬之累積倍數（C.F. Value）因重金屬種類及濃度而有不同，汞之累積倍數是為 $10^4 \sim 10^5$ 倍、鋅為 $10^4$ 倍左右、銅及鎳為 $10^2 \sim 10^3$ 倍。又矽藻對銅、鎳、鋅等3種元素之累積倍數，隨海水中金屬濃度之增加而增加，但汞則無此種情形。

### 謝 辭

本試驗得以完成感謝本分所同仁盧浩森、黃智育之協助，及實驗期間承海洋學院水產養殖系主任陳建初教授惠允借用分析儀器及指導，助理劉秉忠君諸多幫忙，在此謹致最大謝忱。

### 參考文獻

- 1 廖一久、黃丁郎、勝谷邦夫（1969）。草蝦繁殖試驗，*JCRR Fisheries Series*，8，67-71。
- 2 黃丁郎、丁雲源、謝錫欽（1969）。斑節蝦人工繁殖及養殖試驗。*JCRR Fisheries Series*，7，54-65。
- 3 廖一久、丁雲源、勝谷邦夫（1969）。砂蝦之人工繁殖試驗。*JCRR Fisheries Series*，8。
- 4 陳弘成（1981）。繁殖場草蝦苗大量死亡研究，*中國水產*，348，15-22。
- 5 陳惠彬（1981）。台灣養蝦之近況及問題，*中國水產*，345，18-23。
- 6 鄭森雄等（1975）。台灣西南沿海養殖貝類大量死亡原因之研究。*JCRR Fisheries series*，18。
- 7 Hang, T.C., A. Chuang and I.O. Yu（1978）。Anodic stripping Voltammetric Analysis of Heavy Metals in the Natural Waters and Aquatic Organisms in Taiwan. *Bull. Inst. Chem. Academia Sincia*，25，35-46。
- 8 Forstner, U. and G.T.W. Wittmann（1979）。*Metal Pollution in the Aquatic Environment*，1-300，Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York。

9. Nomiya, K. ( 1975 ). Toxicity of Cadmium-Mechanism and Diagnosis in Heavy Metals in the Aquatic Environment ( P.A. Krenkel ED ) , 15 - 23 .
10. 謙谷明善、高橋幹夫、森田良美 ( 1979 ). 海産矽藻による亜鉛の吸収について、日本誌 , 45 (6), 715 - 719 .
11. 西沢一俊、千原光雄 ( 1975 ). 藻類研究法 , 274 - 280 .
12. Reiichiro Hirota, Motoo Fujiki and Shizuko Jajima (1979). Mercury contents of Zooplankton Collected in Tropical Pacific Ocean . *Bull. Tap. Soc. Sci. Fish.* , 45 (11), 1449 - 1451 .
13. HITACHI ( 1974 ). Instruction Manual for the model 207-0290,303-9352 Mercury Reduction Unit, HITACHI, Ltd Tokyo Japan, 1 - 14 .
14. 陳建初 ( 1981 ). 水質分析 , 九大圖書出版 .
15. Levid, R.A. ( 1962 ). Physiology and Biochemistry of Algae.
16. FAO ( 1971 ). Supplement to the Report of the Technical Conference on Marine Pollution and It's Effects on Living Resources and Fishing FAO, *Fish. Reports*, 99 Suppl, 1 .