

文蛤生理生態試驗— I

文蛤形質測定和生態之生存界限及其數學模式

楊維德

Physiological-Ecological Studies on Hard Clam

Meretrix linsoria (Roding)—I

Studies on some mathematic models for morphometric characters
and ecological limits of hard clam, *Meretrix linsoria* (Roding)

Wei-Der Yang

Studies on morphometric characters and their relationships of hard clam *Meretrix linsoria* (Roding) are made.

Survival rate of hard clam in high temperature treated with fixed time is described and expressed by mathematic model as $S = a + b(T - T_0)(t + t_0)$. Emphasis is laid on expected upper limits of inhibiting level, which doesn't lead to death yet, and critical level, which lies between inhibiting level and lethal level.

Critical time of hard clam exposed in the air is presented. The ability of burrowing in sea water of low salinity is used as an ecologically relevant index. A mathematic model is also shown. The lower limit of salinity on hard clam is predicted from this model.

前 言

文蛤是本省重要養殖魚貝類之一，其養殖面積次於虱目魚、牡蠣、草蜆魚、吳郭魚，高居全省第五位⁽¹⁾，由於連年淺海養殖貝類有大量死亡現象⁽²⁾，本文擬就文蛤對惡劣環境之忍受極限作一界定。

生物對環境的好惡可分為以下四階段：(一)適宜階段 (Optimal level) 在此種環境狀況下，最適合生物的生長。(二)抑制階段 (Inhibiting level) 在此階段下，雖尚未造成生物的死亡或其他直接危害，但已抑制生物的活動和生長。(三)危害階段 (Critical level) 此階段下，已開始對生物造成危害，各環境因子所形成不同程作的度用，導致生物有死階段 (Lethal level) 在此階段，生物已無法活存而全部死亡。

本文將就文蛤對各種不良環境之反應，以數學模式描述出上列各階段之臨界值。

同時亦量取文蛤之各項形質間之迴歸相關，以建立其基礎生物學資料。

材 料 及 方 法

供試文蛤購自臺南縣七股鄉養殖漁民，大小約為 200 粒/斤，購入後蕃養於臺南分所室外長方形水泥池中，經蕃養一星期以上，方加以處理。

(1)形質測定：以游標尺及天秤，量取文蛤之殼長、殼高、殼幅（以公分為單位），全重、肉重、殼重（以公克為單位），並計算其形質彼此間之迴歸相關。

(2)高溫處理：文蛤死亡不易立即察覺，故不記錄其在高溫處理下之死亡確實時間。改以恆溫、定時處理：在恆溫水槽中，以水浴法間接加熱處理，於高溫狀況下（自 40.0°C 以上，以 0.5°C 為一階），各放置不同時間（一小時以上），處理後隨即移至鋪有細砂之塑膠桶中，每 12 小時觀察一次，檢出

張殼死貝，換水，並將剩餘活貝自砂中挖出，放置於砂表面，任其防具潛砂。死貝則仍留置砂表面，待其張殼，可確定為死亡後，隨即檢出，並記錄之。觀察至餘貝均全部潛砂，連續三天，沒有留滯砂表面之現象，方結束觀察、記錄。

(3)曝乾處理：將文蛤分別自上午十時和晚上十時，取出置於室內空氣中，任其曝曬。於不同之時間間隔（0.5日～6日，以0.5日為一階）移入舖砂之塑膠桶中。其餘觀察、記錄情形如高溫處理者。

(4)低鹽度處理：將文蛤飼育於不同程度之低鹽度海水中（精測海水之鹽度，然後以曝氣後之淡水稀釋成所需之鹽度），每日點算未潛砂之文蛤個數，並將全部文蛤自砂中挖出，換水，將文蛤重新置於砂表面，任其潛砂。

以上各項處理，文蛤個數均為25個。實驗期間並加對照組，以塑膠水桶舖細砂，放置25個文蛤，不加任何處理，飼育於正常海水中，每日將文蛤自砂中挖出清點，換水。每二星期更換新文蛤一次。因為每項實驗處理後、最長觀察時間為十四天。

結 果

實驗期間，對照組均無死亡發生。

(1)形質測定：此次測定之文蛤體型為：殼長1.68 cm～5.90 cm，殼高1.42 cm～4.50 cm，殼幅0.94 cm～2.90 cm，全重1.50 g～40.51 g，肉重0.23 g～14.39 g，殼重1.10 g～30.80 g。其形質彼此間之迴歸相關顯著。唯，殼長、殼高、殼幅間為直線式，全重、肉重、殼重間為對數式，長度與重量間亦為對數式（Table 1）。以殼長、殼高、殼幅對全重或殼重作複迴歸，結果亦顯著（Table 2）。

Table 2. Multiple regressions of shell length (X_1), shell height (X_2), shell width (X_3), and total weight (Y_1), shell weight (Y_2).

n	Regression equation	R_2	F
168	$\log Y_1 = -0.1298 + 0.4519 \log X_1 + 0.9888 \log X_2 + 1.6369 \log X_3$	0.9823	3028.8434*
240	$\log Y_2 = -0.5456 + 1.3437 \log X_1 + 1.2100 \log X_2 + 0.3029 \log X_3$	0.9914	9157.0276*

** Highly significant $p < 0.01$

Remark: units as cm. & g.

(2)高溫處理：文蛤對40℃以上的高溫相當敏感，在44.0℃以上，處理一小時，全部死亡。在42.0℃～44.0℃間，處理溫度僅差0.5℃或處理時間僅差0.5小時，其活存率相差都相當大（Fig 1）。

(3)曝乾處理：在實驗期間，室溫為25～30℃，結果曝乾時間在2.5日以內者，全部活存。3日以上，開始有死亡發生，至6日則全部死亡（Table 3）。

(4)低鹽度處理：第一次處理之鹽度分別為：0%（全淡水）、6%、12%、18%、24%、30%、36%（全海水）。結果由其潛砂力可發現文蛤對低鹽度之適應範圍頗廣（Table 4），在鹽度為18%以上之處理，其潛砂能力均正常（Table 5），故在0%～12%間又加入6組處理，並將其對低鹽度的反應狀況以“活動指數”表示（活動指數=潛砂個數/處理個數×100%）（Table 6）。

Table 1. Regression equations and correlation coefficient between morphometric characters of hard clam (*Meretrix lusoria*)

X	Y	n	Regression equation	Correlation coefficient	Regression analysis F
shell length	shell height	240	$Y = 0.1211 + 0.7868 X$	0.9943	20533.244**
shell length	shell width	240	$Y = 0.0108 + 0.5165 X$	0.9876	9405.426**
shell height	shell width	240	$Y = -0.0635 + 0.6545 X$	0.9903	12110.722**
total weight	shell weight	168	$\log Y = -0.0931 + 0.9100 \log X$	0.9934	12499.591**
total weight	meat weight	168	$\log Y = -0.7049 + 0.9995 \log X$	0.9669	166.000**
shell weight	meat weight	168	$\log Y = -0.5906 + 1.0815 \log X$	0.9583	1869.028**
shell length	total weight	168	$\log Y = -0.6481 + 3.0258 \log X$	0.9869	6223.771**
shell height	total weight	168	$\log Y = -0.4527 + 3.1539 \log X$	0.9884	7023.518**
shell width	total weight	168	$\log Y = -0.2087 + 3.0215 \log X$	0.9896	7730.774**
shell length	meat weight	168	$\log Y = -1.3566 + 3.0322 \log X$	0.9568	1797.422**
shell height	meat weight	168	$\log Y = -1.1562 + 3.1497 \log X$	0.9549	1717.735**
shell width	meat weight	168	$\log Y = -0.5012 + 3.0418 \log X$	0.9638	2167.347**
shell length	shell weight	240	$\log Y = -0.6928 + 2.7798 \log X$	0.9921	14796.506**
shell height	shell weight	240	$\log Y = -0.5099 + 2.8915 \log X$	0.9933	17479.341**
shell width	shell weight	240**	$\log Y = 0.1760 + 2.3255 \log X$	0.8886	892.903**

** Highly significant $p < 0.01$

Remark: units as cm. & g.

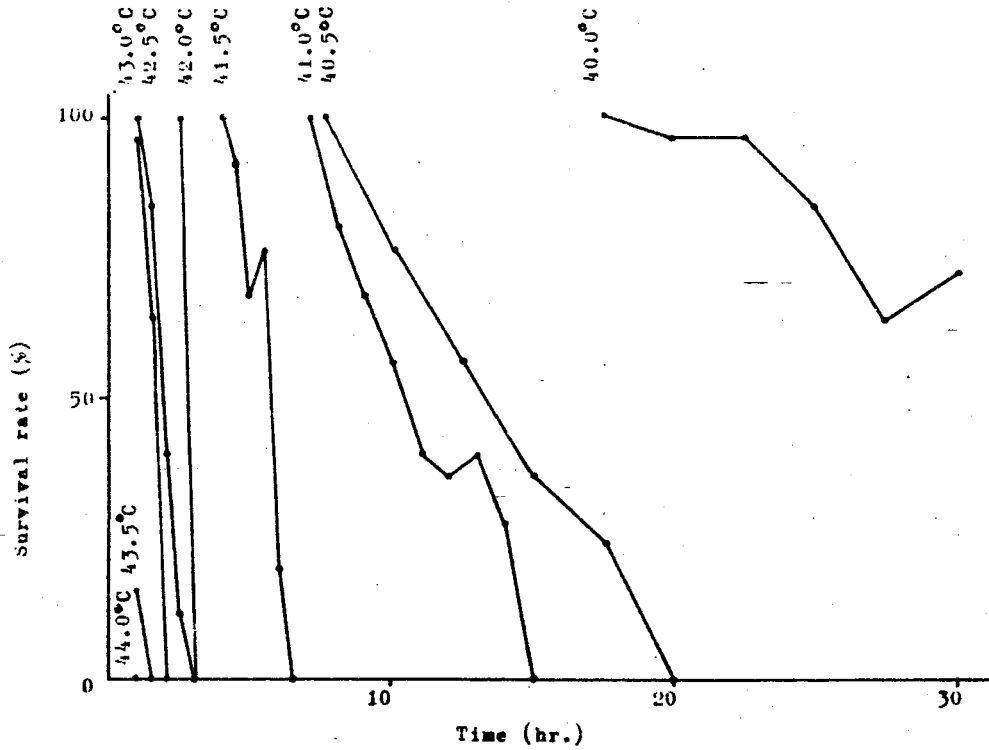


Fig 1. Survival rate of hard clam treated by different time and temperature.

Table 3. Survival rate of hard clam exposed in the air.

exposed time (day)	survival rate (%)	
	A*	B*
0.5	100	100
1.0	100	100
1.5	100	100
2.0	100	100
2.5	100	100
3.0	92	100
3.5	68	96
4.0	28	92
4.5	68	76
5.0	64	24
5.5	36	32
6.0	0	0

* A : Treatment started on 10 : A.M.

B : Treatment started on 10 : P.M.

Table 4. Individuals of hard clam which didn't burrow in low salinity sea water. (25 individuals/treatment)

Time (day) individuals salinity (‰)	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th	mean
0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25.0
6	5	7	15	17	19	18	18	19	19	19	15.6
12	1	6	3	4	2	1	1	2	0	0	2.0
18	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	0.3
24	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2
30	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0.3
36	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1

Table 5. t - test ($H_0 : \mu = 0$) for table 4.

salinity (‰)	\bar{X}	$t \left(= \frac{\bar{X} - \mu}{S\bar{X}} \right)$
0	25.0	
6	15.6	9.4281**
12	2.0	1.3541**
18	0.3	1.9640 n.s.d.
24	0.2	1.5000 n.s.d.
30	0.3	1.9640 n.s.d.
36	0.1	1 n.s.d.

** Significant difference $p < 0.01$

n.s.d. : No significant difference

Table 6. Active index * of hard clam treated by low salinity.

Time (day) A.I. (%) salinity (‰)	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th	mean
1.7	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2
3.4	44	8	4	4	0	0	0	0	0	0	6.0
5.1	72	60	40	48	28	24	24	32	12	24	36.4
6.9	76	96	88	88	80	84	60	76	60	80	78.8
8.6	72	96	80	96	72	92	80	84	80	92	84.4
10.3	92	96	88	92	88	92	92	92	88	92	91.2

$$* \text{ Active index} = \frac{\text{burrowing individuals}}{\text{treated individuals}} \times 100\%$$

討 論

(1)形態測定：全重、肉重、殼重彼此間亦可求得直線式迴歸相關，分別為：殼重 = $0.5823 + 0.5789$ (全重)， $r = 0.9676$ ；肉重 = $-0.2609 + 0.2317$ (全重)， $r = 0.9098$ ；肉重 = $-0.2149 + 0.3654$ (殼重)， $r = 0.8585$ ；與對數式相比較， r 值均低 (對數式之 r 值分別為： 0.9934 ； 0.9669 ； 0.9583 —見表一)。因此，全重、肉重、殼重彼此間的迴歸相關採用對數式。

殼長 (X_1)、殼高 (X_2)、殼幅 (X_3) 對全重 (Y_1) 之最佳預測迴歸方程式為： $\log Y_1 = -0.1298 + 0.4519 \log X_1 + 0.9888 \log X_2 + 1.6369 \log X_3$ ， $R^2 = 0.9823$ ，經標準化之後，其標準偏迴歸係數 (Standard Partial Regression Coefficient) 分別為： $b'_1 = 0.1474$ ， $b'_2 = 0.3099$ ， $b'_3 = 0.5361$ ，可見 $\log X_3$ 之變動對 $\log Y_1$ 之影響最大，亦即殼幅之變異對全重影響最大。

殼長 (X_1)、殼高 (X_2)、殼幅 (X_3)，對殼重 (Y_2) 之最佳預測迴歸方程式為： $\log Y_2 = 0.5456 + 1.3437 \log X_1 + 1.2100 \log X_2 + 0.3029 \log X_3$ ， $R^2 = 0.9914$ ，經標準化之後，其標準偏迴歸係數分別為： $b'_1 = 0.4795$ ， $b'_2 = 0.4157$ ， $b'_3 = 0.1158$ ，可見殼長之變異對殼重之影響最大。

(2)高溫處理：處理溫度 ($T^\circ\text{C}$)，處理時間 (t hr.) 對活存率 ($S\%$) 之關係，可以複迴歸方程式表示： $S = 210 \div 6 (T - 39.3) (t + 6.2)$ ， $R^2 = 0.5140$ ， $F = 10.5775^*$ ($P < 0.05$)。

此一方程式亦可加以適當地改變：設活存率 (S) 為 0% 時，可改寫為： $(T - 39.3) (t + 6.2) = 35$ ，為一雙曲線，(實際可用者約為此雙曲線之四分之一，即 $t \geq 0$ 部份) 設 $t = 0$ 時， $T = 44.9$ ($^\circ\text{C}$) 顯示文蛤的生存最上限為 44.9°C 左右，此處也就是高溫對文蛤影響的危害階段 (Critical level) 和致死階段 (Lethal level) 之分界點。又，此雙曲線的一條漸近線： $T = 39.3$ ($^\circ\text{C}$)，此應為文蛤抑制階段 (Inhibiting level) 和危害階段的分界點。

設活存率 (S) 為 100% ，原方程式可改寫為： $(T - 39.3) (t + 6.2) = 18.3$ ，因此，若設 $(T - 39.3) (t + 6.2) = K$ ，就溫度和時間之聯合作用而言，當 $K > 35$ 時，文蛤將可能全部死亡，當 $K < 18.3$ 時，則為安全。

井上³⁾就文蛤鰓上纖毛之運動觀察，發現於 25.5°C 時活動量最大， $3^\circ\text{C} \sim 39^\circ\text{C}$ 均可運動 41.2°C 時纖毛停止擺動，可見 $3^\circ\text{C} \sim 39^\circ\text{C}$ 為文蛤適宜階段 (Optimal level) 和抑制階段 (Inhibiting level) 聯合之概略範圍。本文則推測其抑制階段之上限為 39.3°C ，相當接近。

事實上，本實驗之處理溫度均為 40.0°C 以上，處理最長時間為 30 小時，而其活存率高達 72% ，因此若要探究文蛤在 40.0°C 以下對溫度 (或與時間之聯合) 的反應，當選用其他較為敏感的參考指標，而適宜用活存率作為其反應的指標。

(3)曝乾處理：表三上各次處理，自白天開始和自晚上開始曝乾，其活存率經駢對法 t -test，結果並無顯著性差異 ($t = 0.7580$ n.s.d.)，故捨棄無死亡發生之處理 (0.5 日 ~ 2.5 日) 後，合併、平均其餘 (曝乾 3 日 ~ 6 日) 之活存率 (Y)，對其曝乾時間 (X) 作直線迴歸： $Y = 184 - 28.6X$ ， $r = -0.9516$ ， $t = -6.9271^{**}$ ($p < 0.01$)，當 $Y = 0$ 時， $X = 6.4$ (日)，此天數應為曝乾對文蛤的致死階段 (lethal level)，當 $Y = 100$ (%) 時， $X = 2.9$ (日)，此為其危害階段 (Critical level) 之開始。亦即：文蛤曝露在乾燥空氣中，2.9 日以後開始有死亡發生，6.4 日以後將會全部死亡。

吉田⁴⁾引倉茂 (1957) 將アサリ (*Tapes japonica* 國姓繞⁵⁾) 保持濕潤狀態在空中露出之平均生存日數，於 10°C 、 15°C 時略小於 7 日， 20°C 時為 3.5 日， 25°C 時為 2.8 日， 30°C 時為 1.3 日。本次實驗未持文蛤之濕潤，亦未保持恆溫，但室溫為 $25 \sim 30^\circ\text{C}$ ，其危害階段上、下限為 2.9 日 ~ 6.4 日，可見文蛤對曝乾耐力，要比國姓繞強。但，仍需將其署於相同環境下，方能得到更可信賴的結果。

文蛤離水運送時間，最好能控制在3日以內，唯添加其他處理，是否能延長文蛤對長時間離水運送的忍受範圍，仍有待進一步的實驗探究。

(4)低溫度處理：由表四、表五可得知，當鹽度在18‰以上時，文蛤之潛砂活力，並無顯著變化。而鹽度在12‰以下之處理，文蛤每日潛砂之比例，以活動指數(Y%)對鹽度(X‰)作迴歸： $Y = -43.73 + 127.26 \log X$ ， $r = 0.9300$ $t = 6.1994^{**}$ ($p < 0.01$) (Fig 2)，以外插法求 $Y = 100\%$ 時， $\log X = 1.1294$ 亦即鹽度在13.5‰以上時，鹽度降低對文蛤潛砂能力無顯著影響，亦即13.5‰為其適宜鹽度之下限，為其適宜階段(Optimal level)和抑制階段(Inhibiting level)之分界點。

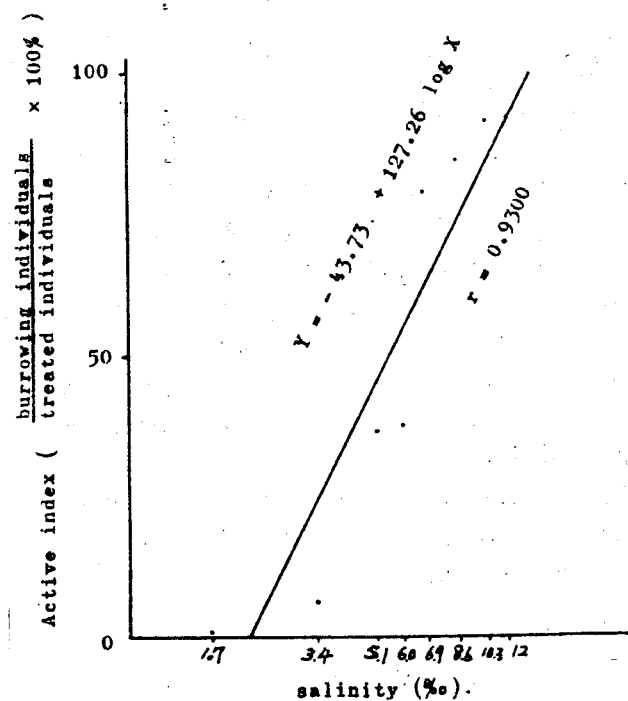


Fig 2. Salinity and Active index of the hard clam (data from tables 4 & 6).

生物之適宜階段上、下限無法自其活存率上估算，必要選用一種有效而且敏感的“指標”。如井上³⁾以鰓上纖毛的運動，作為文蛤對溫度反應之指標。本文則以“潛砂”作為文蛤對低鹽度海水反應之指標。結果相當令人滿意。事實上，文蛤若要潛砂，勢必要將其內部暴露於水中一段時期，故若水質不適宜，必然會減少其潛砂之能力。

瀧⁴⁾指出文蛤產卵之適比重為1.018~1.019，郭⁴⁾指出文蛤之繁殖適比重在1.010至1.020之間，據相良⁷⁾，文蛤幼生發育之適比重為1.022~1.024，又據吉田⁸⁾，文蛤棲息之適比重為1.022~1.024。依照本實驗所推算之文蛤適宜鹽度下限為13.5‰，在水溫25℃~30℃時，比重約為1.006~1.007，因此可推測上列數據之下限，可能還要更低些。

王⁹⁾發現大鳳螺在15.6‰之鹽分，其活存率為100%，小鳳螺在15.6‰，活存率為70%，可

見小鳳螺對低塩度の海水之忍受能力要較文蛤爲差。唯大鳳螺的活存率爲 100%，且部份（未說明比例）依常態般吸附底層（王⁹之實驗，在蓄養桶中並未鋪砂），伸展著長水管，外觀無異樣，可見大鳳螺對低塩度海水之反應，可能和文蛤相差不遠。

本實驗結束後，全部改以正常海水蓄養，發現塩度在 5.1% 以下者有死亡發生（0% 者 28%，1.7% 者 36%，3.4% 者 36%，5.1% 者 16%）而 6% 以上者則無死亡發生。唯處理時間尙短（僅有十日），尙難據以計算出文蛤致死階段之界限。但是，值得注意的是：其死亡率要比經 5~6 日曝乾處理者的死亡率要來得低，這是否意味著文蛤在淡水中能比曝乾要支持得更久？確值得加以深究。

摘 要

(1) 文蛤形質間之相關均顯著，殼長、殼高、殼幅彼此間爲直線式、全重、肉重、殼重彼此間爲對數式。長度與重量彼此間亦爲對數式。

(2) 將生物對環境的反應分爲四階段：① 適宜階段 ② 抑制階段 ③ 危害階段 ④ 致死階段。並分別以數學模式加以界定。

(3) 溫度 ($T^{\circ}\text{C}$) 和處理時間 ($t\text{ hr}$) 對活存率 ($S\%$) 之最佳預測方程式爲： $S = 210 - 6(T - 39.3)(t + 6.2)$ 。由此方程式可求得： $T < 39.3^{\circ}\text{C}$ 時，溫度對文蛤爲適宜階段或抑制階段； $39.3^{\circ}\text{C} \leq T \leq 44.9^{\circ}\text{C}$ 時，溫度對文蛤爲危害階段； $T > 44.9^{\circ}\text{C}$ 時，溫度對文蛤爲致死階段。

(4) 溫度 ($T^{\circ}\text{C}$) 和處理時間 ($t\text{ hr}$) 對文蛤之聯合作用爲： $(T - 39.3)(t + 6.2) > 35$ 時，文蛤將會全部死亡； $(T - 39.3)(t + 6.2) < 18.3$ 時，對文蛤爲安全。

(5) 開始曝乾在上午 10 時或晚上 10 時，對文蛤的活存率並無顯著差異。由其曝乾時間 (X) 和其平均活存率 (Y) 可得一迴歸直線方程式： $Y = 184 - 28.6X$ ，由此方程式可推論得到：6.4 日爲曝乾對文蛤之致死界限；2.9 日爲其危害界限。

(6) 以潛砂文蛤的個數比例作爲文蛤對低塩度海水的“活動指數”，在十日的實驗期間內，塩度在 18% 以上，對其潛砂能力無影響。以塩度 ($X\%$) 之對數值 ($\log X$) 與活動指數 ($Y\%$) 作直線迴歸，可得： $Y = -43.73 + 127.26 \log X$ ，可推論得：塩度 13.5% 爲塩度對文蛤適宜階段之下限。

謝 辭

感謝丁分所長的督促與指導。本實驗得以順利完成，好友鄭新鴻、徐嘉瑩，給了最大的激勵和協助。分所同仁，尤其邱加進，在實驗中均給予極大的支持和鼓舞。謹此敬致謝忱。

參 考 文 獻

- 1 台灣省漁業局 (1978)：中華民國台灣地區漁業年報。
- 2 鄭森雄 (1975)：台灣西南沿海養殖貝類大量死亡原因之研究，農復會漁業專輯第 18 號。
- 3 井上明 (1938)：ハスグリの鰓の纖毛運動と溫度との關係，日本水產學會誌。7 (1) 24
- 4 吉田裕 (1967)：ハスグリ・アサリ，養魚學各論 (川本信之編)，恒星社厚生閣。
- 5 郭河 (1964)：臺灣經濟貝類調查，農復會特刊第 38 號。
- 6 瀧庸 (1950)：昭和 22 年東京灣に於けるハスグリの産卵期，日本水產學會誌。15 (9) 479 ~ 486。
- 7 相良順一郎 (1958)：ハスグリの發生初期に於ける適温、適比重について。東海水研報 22, 27 - 32
- 8 吉田裕 (1952)：ハスグリの養殖，水産界 813：46 - 65
- 9 王麗莉 (1980)：鳳螺繁殖與養殖可能性研究，台灣省水產試驗所 69 年度工作成果報告。