

廿五、濁泥對生態與牡蠣之影響

陳弘成 林明南 郭素芬

臺灣大學動物所與漁試所

摘 要

由於中油公司在永安、彌陀兩鄉海域間，興建液化天然氣進口站，在施工過程，引起濁泥大量懸浮於水域中，導致牡蠣大量死亡。因此，本研究的目的在於偵知濁泥對牡蠣之致死機制，並建立完整評估方法，以作為公害鑑定及防治依據，同時提供資料，以減少濁泥對牡蠣危害的影響。

本研究分為兩大部分，I 為野外調查，在彌陀與興達港間水域設置九個測站，探討其物理、化學和生物因子之變化。II 為實驗室之試驗設計，分別探討濁泥對牡蠣繁殖及生理之影響。其研究結論如下：

1. 在濁泥含量高的海域，化學因子如：pH 值和 D.O. 減少、COD 增加，生物因子如：動、植物性浮游生物受抑制，使得固棲生物活存率及成長速度減少，尤以牡蠣、*Balanus* sp. 為最。

2. 牡蠣生理功能亦有顯著改變，在 0.05、0.1 和 0.5g/l 濁泥中，牡蠣開殼率、濾食率、成長率和耗氧量有高於 Control 的現象。1 和 2 g/l 濁泥中，則降至很低且幾乎停頓。

3. 由野外調查及實驗室之研究得知，此次牡蠣大量死亡之原因，係因在濁泥下其食物大量減少，且開殼率及攝食量減低，致長期饑餓而死亡。

4. 以後在海域施工，致引起高濃度的濁泥時，則每隔一至二個星期應停工一星期，如此才能維持牡蠣之體力，而不會大量死亡。

5. 因微量之濁泥，可促進牡蠣生長，故在訂定海域中的濁泥基準，可暫設為 0.05 g/l，而在養殖時，亦可加入 0.05 g/l 濁泥，促進牡蠣生長。

1. 緒 言

由於中油公司在永安、彌陀兩鄉海域間，興建液化天然氣進口站，在填築海上人工島的抽砂過程中，受到潮流影響，濁泥漂進約三百公頃的牡蠣養殖區，引起牡蠣大量死亡。因此有必要調查及鑑定其真正死亡的原因。

真牡蠣 (*Crassostrea gigas*) 屬於軟體動物門、斧足綱、牡蠣科，被廣泛養殖於本省西部河口地區，為本省貝類產業中經濟價值最高、產量最多的種類 (巫、張, 1976)。在其生活史中，幼生有一非常短暫的浮游期，其後，幼生便要尋覓適當的基質，改行固著生活。所以，大部份時間的生存條件完全受環境因子控制，例如：溫度、鹽度、食物種類、食物密度與濁泥 (Loosanoff *et al.*, 1951; Davis, 1953; Loosanoff and Davis, 1953; Loosanoff, Davis and Chanley, 1953; Davis and Guillard, 1958; Davis, 1958; Kjørboe *et al.*, 1981)。

Westfall (1945) 指出水生生物的繁殖情況能顯示出族群的生存機率。而山本 (1956; 1957) 也發現濁泥使稚貝產量減少。因此，探討濁泥對牡蠣繁殖之影響，乃具有其重要性。

通常，二枚貝的攝食、呼吸、排泄及其他代謝作用都必須藉著殼開的時候來完成，當開殼受阻時

，二枚貝維持生存的來源就會中斷；於是，由殼的開閉可知環境好壞。又從攝食量的多寡，可以看出其生存的活力；所以，做攝食量試驗，亦能了解濁泥對二枚貝生理影響之程度（陳，1979）。近年來有很多研究證明濁泥深深影響濾食性二枚貝的攝食和成長（Winter, 1976; Widdows *et al.*, 1979; Vahl, 1980; Kiørboe *et al.*, 1980, 1981; Møhlenberg and Kiørboe, 1981）。因此，可由成長試驗結果知道濁泥對牡蠣影響的長期趨勢。再者，耗氧量的大小，可以做為動物對能量的利用及其生理狀況的良好指標（Sharp *et al.*, 1978）。另外，Dall (1981) 認為沿岸及河口地區生物的體內滲透壓調節，是為適應不良環境的主要生理功能之一。所以，由牡蠣的耗氧量與滲透壓之變化，可看出濁泥影響之程度。最後，以經濟觀點而言，濁泥是否會影響牡蠣上市的品質，亦可由體成份分析來加以判斷。

本研究分為兩大部份，I 為野外調查，即在發生濁泥的天然海域中，探討其對水質因子、浮游生物相及固棲生物成長等之變化。II 為實驗室之試驗與分析，及利用人工濁泥對牡蠣的繁殖及生理狀況做一系列的影響研究。本文主要的目的，在於希望將野外調查與實驗室研究的結果相互印證，以其建立完整的影響評估之鑑定方法，藉此預知濁泥之產生對牡蠣的實質影響，並作為公害鑑定及防治依據，從而對養殖環境提出確切之參考資料，使養殖技術日趨完善。

2. 材料與方法

2.1 野外調查

本試驗於 1985 年至 1986 年間，在高雄縣彌陀鄉至興達港附近海域，以大約 1.5 公里之定點方式，設置 A1、A2、A3、A4、A5、A6、A7、A8、A9 等九個測站（如 Fig. 1）。分別採集水樣、浮游生物及牡蠣殼上的固棲生物，携回實驗室進行分析。

(一)物理因子之測定：

(1)水溫：使用 0~50°C 之水銀溫度計，於採樣現場直接測定。

(2)鹽度 (Salinity)：以赤沼式比重計於現場測定比重，再參照比重、溫度和鹽度換算圖，將比重換算為鹽度而得。

(3)懸浮固體量 (Suspended solid)：將薄膜過濾紙放在過濾裝置上，用真空抽氣器抽吸，然後將過濾紙放在 105°C 加熱乾燥 2 個小時，放冷後，再以電動天平 (H35AR 型式) 稱重。

(4)濁度 (Turbidity)：水樣及以高嶺土配成之標準溶液以光譜儀 (CE 303 Grating Spectrophotometer) 於波長 420 nm 下直接定量而得。

(二)化學因子之測定：

(1) pH 值：以 Chemtrix 600 pH meter 於現場測定。

(2)溶氧 (Dissolved oxygen)：以 Delta Scientific Model 2110 Multirange D. O. meter 於現場先經校正後測定。

(3)化學須氧量 (Chemical oxygen demand)：以適用於海水及氯含量較多試水之鹼性高錳酸鉀法定量 (伊藤, 1972)。

(4)亞硝酸鹽 (Nitrite)：水樣與鉍本磺胺 (Sulphanilamide) 作用後，以苯二胺 (N-(1-naphthyl)-ethylene-diamine) 還原後，於光譜儀 543 nm 下測定 (Rand *et al.*, 1976)。

(5)硝酸鹽 (Nitrate)：在酮催化下以肼 (Hydrazine) 還原為亞硝酸鹽，再依照亞硝酸鹽定量步驟在 543 nm 下定量 (Bower and Thomas, 1980)。

(6)鉍鹽 (Ammonium)：在鹼性溶液中，並在 ClO^- 共存下，鉍與 phenol 形成 indophenol blue 以 Sodium nitroprusside 增加呈色效果，在光譜儀 640 nm 下定量 (Solorzano, 1969)。

(7)磷酸鹽 (Phosphate)：水樣在鉍酸及 Antimony potassium tartrate 及 Ascorbic

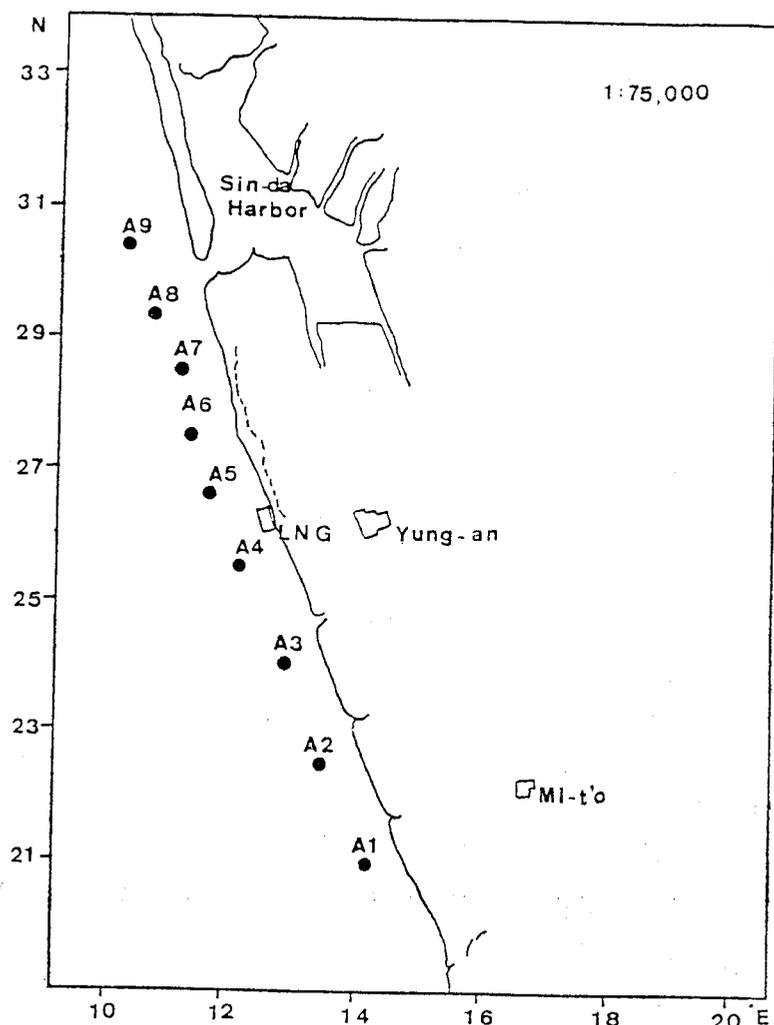


Fig. 1. Map of nine sampling stations in costal water from Mi-t'o to Sin-da harbor.

acid 下變成藍色錯化合物之後，於光譜儀 650 nm 下定量 (EPA, 1979)。

(8)矽酸鹽 (Silicate)：水樣與鉬酸作用，再經草酸與 硫酸鉀鉞酚 (P-methylaminophenol sulfate) 還原顯色後，於光譜儀 810 nm 下定量 (Strickland and Parsons, 1972)。

(9)葉綠素甲 (Chlorophyll a)：將定量海水在 milipore 過濾紙收集浮游藻類後，置於 90% 丙酮液中置 24 小時後，再以上澄液於光譜儀 665 nm 及 750 nm 下定量並計算之 (Rand *et al.*, 1976)。

(10)重金屬 (Heavy metals)：試水採樣後，加酸以防止金屬沉澱，並以 APDC 及 MIBK 濃縮，再以 Pye Unicau AAS 測定之，同時並扣除高鹽度所引起之干擾而得 (EPA, 1979)。

(二)生物因子之測定：

(1)動物性浮游生物 (Zooplankton)：以浮游生物網 (45×60 μm) 定量採集後，用 5% 福馬林 (Formalin solution) 固定，於 Olympus 或 A. O. 顯微鏡下觀察及鑑定，並記錄數量及種類。

(2)植物性浮游生物 (Phytoplankton)：取 1 l 之水樣以 Lugol's solu 固定，携回實驗室後過濾濃縮，於顯微鏡下觀察，並參考山路 (1966, 1974) 之圖鑑互為印證，記錄種類及數量。

(3)固棲生物 (Sessile animal)：將採集的牡蠣串，置於解剖顯微鏡下觀察，參考岡田 (1958) 之資料鑑定與記錄種類及數量，並測量體長及活存率。

2.2 實驗室之試驗設計

本試驗之牡蠣為真牡蠣 (*Crassostrea gigas*)，取自安平、布袋、鹿港及香山等主要之牡蠣養殖區，蓄養於實驗室之恆溫室 (20°C, 23‰) 內，並予以充份打氣及餵食。

濁泥的配製，則以粒徑約 0.24~4 μ 的高嶺土 (Kaolin)；由 Osaka Hayashi Pure Chemical Industries 出品，加海水來製造濁泥，用以模擬天然水域中濁泥狀況，所配製的五組濃度，分別為：0.05、0.1、0.5、1 和 2 g/l (Loosanoff and Engle, 1947)。並有一組 Control 當對照組。另外，為使濁泥能充份均勻懸浮於海水中，乃利用 1,250 ml 寶特瓶倒掛打氣，以防止濁泥沉澱而影響試驗進行。

(一) 濁泥對開殼率之試驗：

篩選在實驗室經溫度和鹽度 (20°C, 23‰) 馴養過，且體型大小一致的牡蠣各 10 個，分別放入含有濁泥濃度 (Control、0.05、0.1、0.5、1 和 2 g/l) 1,000 ml 之製造濁泥的裝置內。並投飼 2×10^6 cells/ml 的 *Isochrysis* sp.，每隔 2 小時記錄一次牡蠣開殼的數目，每組以二重覆試驗之。其開殼率計算式如下：

$$\text{開殼率 (\%)} = \text{牡蠣開殼之數目} / \text{牡蠣總數} \times 100\%$$

(二) 濁泥對濾食率之試驗：

於 Control、0.05、0.1、0.5、1 和 2 g/l 六組濁泥濃度中，每組投入在前述溫度和鹽度馴養兩天且體型大小一致的牡蠣各五個，試驗中的試水是 600 ml，試水中藻類 *Platymonas* sp. 的密度為 2×10^6 cells/ml，試驗進行中須打氣，每隔 1、2、4、8 和 10 小時，各取每組試水於顯微鏡底下觀察，並以血球計數器測量其所剩的藻類密度。每組以二重覆試驗之。計算式如下：

$$\text{濾食率 (\%)} = (\text{最初藻類密度} - \text{剩餘藻類密度}) / \text{最初藻類密度} \times 100\%$$

(三) 濁泥對附著稚貝成長之試驗：

於含有不同濁泥濃度 (Control、0.05、0.1、0.5、1 和 2 g/l) 500 ml 之濁泥製造裝置內，分別懸掛一串 (約 2~3 個○蠣殼) 之天然附著的稚貝，溫度和鹽度控制在 25°C 和 23‰。每日餵食等量的 *Isochrysis* sp. 和 *Platymonas* sp.，且每隔兩日換水一次，每星期以游標尺測量固定位置之稚貝體長一次，以觀察其成長的情形，試驗以二重覆行之，並持續進行 35 天。

(四) 濁泥對耗氧量之試驗：

在 Control 及 0.05、0.1、0.5、1 和 2 g/l 濁泥中，使牡蠣馴化兩天後，再進行耗氧量測定。耗氧裝置係仿照 Taylor and Brand (1975) 之密閉式配置方法行之。呼吸瓶內溶氧濃度以 Multiple-Range Temperature and Oxygen Analysis (Delta Scientific 2110 型) 測定。並以 Potentio Metric Record (Servocribe 牌) 連續記錄。測定與計算方法，則與 Miller *et al.* (1976) 及陳與趙 (1980) 相同，溶氧分析儀使用前，皆以飽和空氣之溶氧校正。

計算耗氧公式為： $\Delta \text{ppm} \times \text{Water Volume (ml)} \times 1,000 / \text{Wet Weight (g)} / t$ 。Δppm 為間隔時間 (t) 的溶氧差。所得數值為單位體重耗氧量 (Weight-Specific Oxygen)

(五) 統計分析：

各組平均值之比較，先以 F-test 分析，若有顯著差異，再進一步以鄧肯氏多變距測驗新法 (Duncan's new multiple-range test) 分析各組間之差異性，以 5% 或 1% 或然率為度。

實驗設計中若有兩個影響因子，則以雙向變方分析 (Two-way analysis of variation) 做顯著性差異之測試。

3. 結 果

3.1 野外調查

(一)物理與化學因子：

在 A1 至 A9 測站中，鹽度在各測站間並無顯著變化。一般鹽度平均約 33‰，最高鹽度出現於 A1 與 A4 測站，分別為 34‰與 34.2‰。而各測站溫度平均為 30°C，唯 A7 測站溫度較高達 31.5°C (Table 1)。這是因為與達火力發電廠排放熱水之關係。

各測站間，溶氧、pH 值和 COD 隨著環境變化巨異。其中，溶氧變動範圍在 4.5~5.5 ppm 間，以 A9 測站溶氧最高達 5.5 ppm，A1 測站也有 5.3 ppm，在 A2 與 A3 測站溶氧減少至 4.8 ppm，到 A4 測站（油氣接收站）則降至最低僅 4.5 ppm，之後。A5 測站又上升達 5.4 ppm。而 pH 值在 8.0~8.3 間變動，仍以 A9 測站 pH 值最高為 8.3，pH 值在 A1 至 A5 測站間有明顯變化，即 A1 測站 pH 值 8.29，隨測站稍微減少，至 A4 測站則降為 8.15，在 A5 測站又回復為 8.25，亦與溶氧變化一樣。至於，COD 則在 0.89~2.67 ppm 間變動，以 A4 測站最高達 2.67 ppm，A2 測站最低為 0.89 ppm，其他測站 COD 在 1~2 ppm 間 (Table 1)。

Table 1. Physical and chemical characters among different stations in sampling area

Sation No.	Temp C	Salin ‰	D. O. ppm	pH	COD ppm	SS mg/l	Turbidity ppm
A1	30.0	34.0	5.3	8.29	1.48	56.4	15
A2	30.0	33.5	4.8	8.27	0.89	72.2	43
A3	30.0	33.0	4.8	8.25	1.99	148.6	180
A4	30.0	34.2	4.5	8.18	2.67	196.4	250
A5	30.0	33.4	5.4	8.28	1.93	54.6	15
A6	30.0	33.2	5.3	8.23	1.78	41.2	40
A7	31.5	33.5	5.1	8.00	1.48	61.8	18
A8	30.0	33.2	5.3	8.00	2.38	61.4	15
A9	30.0	33.0	5.5	8.30	2.38	38.8	15

水域中濁度及懸浮固體，因測站位置不同亦有顯著不同 (Table 1)。以 A4 測站濁度及懸浮固體最高，分別為 250 ppm 及 196.4 mg/l，A3 測站次之，分別為 180 ppm 及 148.6 mg/l。其他各測站之濁度及懸浮固體分別在 15~40 ppm 及 38~72 mg/l 間，且濁度與懸浮固體二者間似有正相關之關係存在，表示此海域主要受懸浮固體之濁泥所影響。

營養鹽以磷酸鹽、矽酸鹽和葉綠素甲變化較大，亦以 A4 測站營養鹽之含量較其他各測站不同。其中，磷酸鹽在 15.8~66.6 ppb 間變動，以 A4 測站含量最少只有 15.8 ppb，最高在 A8 測站為 66.6 ppb。而矽酸鹽也有相同情形，除 A4 測站矽酸鹽含量只有 0.015 ppb 外，其他各測站矽酸鹽含量皆在 0.04~0.186 ppb 間。葉綠素甲也有很大相同之處，在各測站中，葉綠素甲含量皆在 1 µg/l 以上，唯有 A3 與 A4 測站，葉綠素甲含量分別為 0.0476 µg/l 及 0.0517 µg/l。至於其他營養鹽如：硝酸鹽在海域中其量甚微，亞硝酸鹽亦只有 A5 與 A8 測站，分別為 2.56 及 4.18 ppb，而銨鹽含量在 32.2~65 ppb 間，以 A2 測站含量最高為 65 ppb，A3 及 A7 測站最少為 32.2 ppb (Table 2)，三者皆看不出與濁泥濃度有任何關係。

重金屬在本次調查中，各測站間也有顯著變化。以銅、鋅及鎳最為明顯，鉛、鉻和汞則否 (Table 3)。其中銅、鎳以 A4 測站所測到的含量最高，銅有 52.5 ppb，鎳有 27 ppb。而鋅以 A3 測站最

Table 5. Abundance of zooplankton (ind./m³) at different stations in sampling area

Zooplankton sp./sta. no.	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
<i>Acartia clausi</i>	7.5	2.5	0.5	1.5	7.5	1.0	—	3.0
<i>Calanus finmarchicus</i>	3.5	2.0	—	1.5	1.0	1.5	—	2.0
<i>Calanus helgolandicus</i>	1.0	—	—	—	0.5	—	—	—
<i>Ceratium masciliense</i>	1.0	—	—	—	2.0	—	—	—
<i>Ceratium macroceros</i>	—	—	0.5	—	0.5	—	—	—
<i>Globigerina bulloides</i>	—	—	0.5	0.5	—	—	1.0	—
<i>Keratella valga</i>	1.0	—	—	—	—	—	—	—
<i>Microsetella rosea</i>	—	—	—	—	1.5	—	—	—
Nauplius of <i>Acartia clausi</i>	8.5	1.5	—	2.0	19.0	0.5	1.5	7.0
Nauplius of <i>Balanus trigonus</i>	—	0.5	0.5	1.0	0.5	—	—	3.0
<i>Oithona nana</i>	8.0	4.0	1.5	1.5	2.5	—	4.0	2.0
<i>Paracalanus parvus</i>	2.0	3.5	1.5	1.5	4.5	2.5	0.5	1.0
<i>Peridinium conium</i>	—	—	—	—	—	—	0.5	0.5
<i>Tintinnopsis Kofoidi</i>	1.5	1.0	—	—	3.0	—	—	—
Total number	34.0	15.0	5.0	9.5	42.5	55	7.5	18.5

Table 6. Survival rate, shell length of oyster and number of sessile animals found in cluster of oyster at the different stations

Sta. No.	Survival of oyster (%)	Shell length of oyster (cm)	Tube length of <i>Salmacina</i> sp. (cm)	No. of animals per cluster of oyster		
				<i>Salmacina</i> sp. (ind.)	<i>Balanus</i> sp. (ind.)	<i>Anomia</i> sp. (ind.)
A1	85.0-47.1	5.17	2.60	41.5	8.67	9.33
A2	65.0-32.3	4.30	9.70	34.0	5.67	8.33
A3	30.2- 7.4	4.43	1.45	17.5	1.67	5.00
A4	9.2- 0.0	3.73	1.10	13.0	4.67	0.33
A5	35.2-10.3	4.27	1.50	20.0	0.00	6.00
A6	—	—	—	—	—	—
A7	—	—	—	—	—	—
A8	91.0-92.0	5.03	2.60	39.0	10.67	10.00
A9	>90.0	5.00	2.65	40.0	11.33	11.00

。A4 測站，牡蠣活存率僅 9.2~0%，而 A3 與 A5 測站牡蠣活存率提高至 30.2~7.4% 及 35.2~10.3%，至 A9 測站牡蠣活存在 90% 以上。至於，牡蠣成長，在 A4 測站只達 3.73 cm、A1 與 A9 測站則高達 5.17 及 5.00 cm。再者，附著於牡蠣殼上的生物：A4 測站 *Salmacina* sp. 的管長 1.1 cm，A1 與 A6 測站其管長 2.6 cm，A9 測站 *Salmacina* sp. 的管長已達 2.65 cm。而在 A4 測站 *Salmacina* sp.、*Balanus* sp. 和 *Anomia* sp. 的數目分別為 13、0、0.33 ind.，A3 測站其數目分別為 17.5、1.67、5 ind.，A9 測站附著生物的數目則顯著增加分別為 40、11.33、11 ind.。這些都明顯的表示出，其活存率、生長或固棲生物都受到濁泥的不良影響，嚴重者導致生物的死亡，如：牡蠣或 *Balanus* sp.。

Table 9a. Difference for testing shell opening rate of oyster in different concentrations of suspended caly

Control	I	0.00					
0.05	I	8.58	0.00				
0.1	I	11.42	20.00**	0.00			
0.5	I	15.92	24.50**	4.50	0.00		
1	I	52.22**	61.50**	41.50**	37.00**	0.00	
2	I	62.92**	71.50**	51.50**	47.00**	10.00	0.00
(g/l)	Control	0.05	0.1	0.5	1	2	

** : Significant at the 1% level.

Table 9b. Result of new multiple range test for the difference of shell opening rate in various concentrations of suspended clay

	Control	0.05	0.1	0.5	1	2
AVG	85.42	94.00	74.00	69.50	32.50	22.50
	+++++					
	+++++					

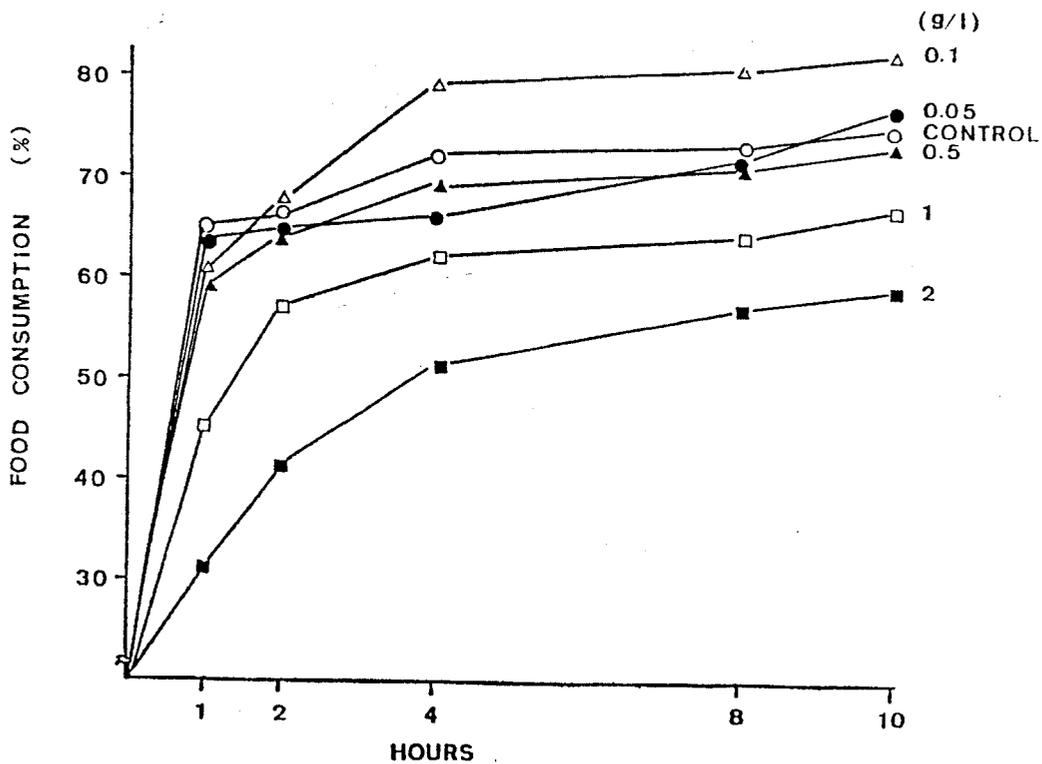


Fig. 2. Food consumption of oyster exposed to different concentrations of suspended clay at different hours.

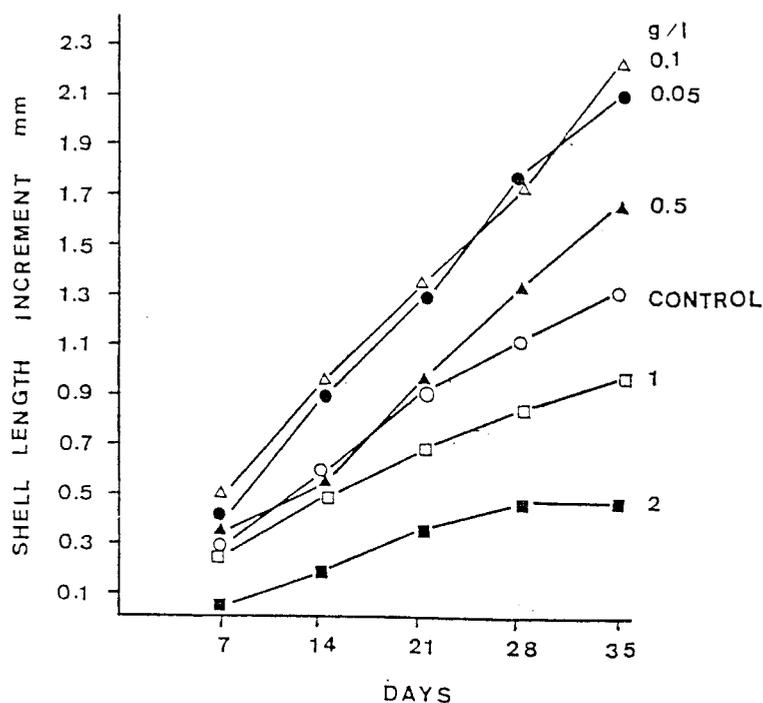


Fig. 3. Growth rate of oyster exposed to different concentrations of suspended clay.

較相近。至於在 1 及 2 g/l 濁泥中，牡蠣殼長增加速度顯著減少分別為 0.96 mm 及 0.45 mm。在 2 g/l 濁泥，牡蠣殼長從第二十八天至第三十五天沒有增加，使用雙向變方分析，其結果如 Table 10 所示，得知在不同濁泥濃度下，牡蠣的成長有顯著差異 ($p < 0.01$)。在不同的時間下，亦有相同的差異影響 ($p < 0.01$)，而且濁泥濃度與時間兩者對牡蠣的成長亦有交感的作用 ($p < 0.01$)。例如：在第七天時，0.1 g/l 濁泥，牡蠣成長 0.5 mm，而 2 g/l 濁泥，在同時間內只成長 0.05 mm。當在 1 g/l 濁泥時，第七天與第十三天牡蠣成長分別為 0.25 及 0.13 mm。

Table 10. Two-way anova for testing the difference of growth rate in different concentrations of suspended clay

	DF	SS	MS	F	P
Concentration	5	0.1635	3.27E-02	13.0346	**
Time (day)	4	1.3712	3.43E-01	13.6293	**
Conc * Time	20	0.3424	1.71E-02	6.8239	**
Error	60	0.1505	2.51E-03		
Total	89	2.0276			

** : Significant at the 1% level.

(四) 濁泥對耗氧量之影響：

濁泥對牡蠣耗氧量之影響由 Fig. 4 可知。在 Control、0.05、0.1、0.5 和 1 g/l 泥濁中，耗氧量隨著溶氧的增加而增加。當溶氧為 9 ppm 時，在 0.05、0.1 和 0.5 g/l 濁泥中耗氧量與 Control 較相近，大約是 400~500 mg O₂/kg/hr。而 1 g/l 濁泥中牡蠣耗氧量顯著減少為 241 mg O₂/kg/hr，但其最小溶氧濃度 (Critical oxygen pressure) 則最高約在 8 ppm O₂。至於 Control 與 0.05、0.1 和 0.5 g/l 濁泥，牡蠣最小溶氧濃度都很接近，皆介於 4~6 ppm O₂ 之間，似無顯著

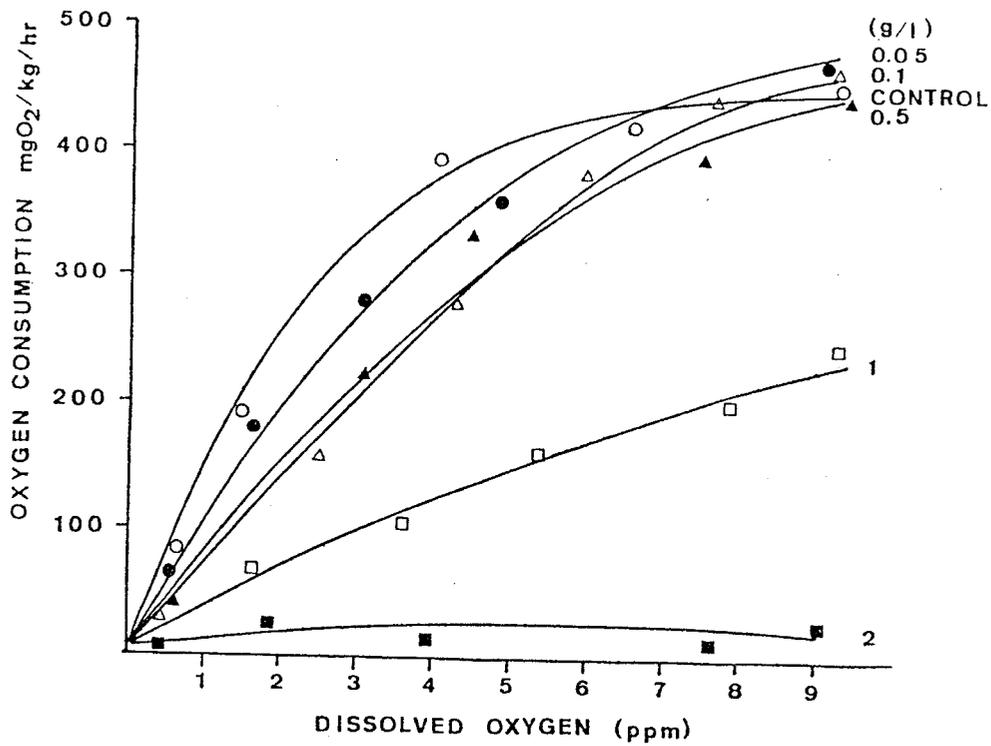


Fig. 4. Oxygen consumption of oyster exposed to different concentrations of suspended clay.

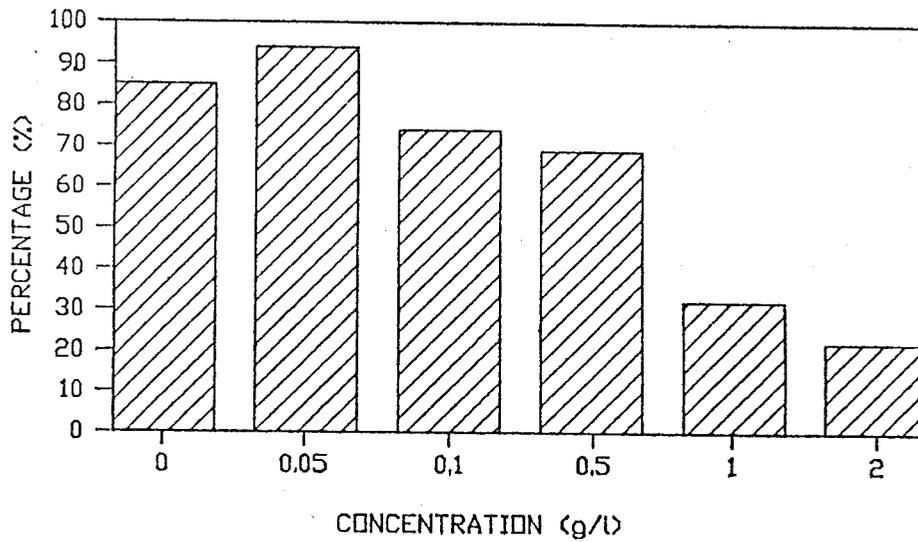


Fig. 5. Shell opening rate of oyster exposed to different concentrations of suspension clay.

差異。在 Control、0.05、0.1 和 0.5 g/l 濁泥與 1 g/l 濁泥中，耗氧量雖然有些差異，但其耗氧方式仍屬於氧氣調節型 (Oxyregulator)。唯有在 2 g/l 濁泥中，耗氧方式為氧氣順應型 (Oxyconformer) 表示牡蠣對於太高濁泥量忍受與適應力微弱，故沒有能力去調節本身的氧氣消耗量。

4. 討 論

由於濁泥最主要的影響是阻礙自然水域中光線之擴散 (Lively *et al.*, 1983) 及藉著吸附作用而

減少水中的營養鹽 (Hagmeier, 1971)。而對大部分藻類來說，光合作用的進行必須有光線的參與，才能藉以完成有機物之合成。而在其能量製造之過程中，氮肥和磷肥是維持生命與生長的重要營養鹽 (Hutchinson, 1967; Edmondson, 1969; Lee, 1970)。至於矽藻除氮、磷外，對矽酸鹽的要求亦相當的高 (Hutchinson, 1944; Smyth, 1955)。所以，高濃度的濁泥常導致光合作用無法進行，而營養鹽的普遍缺乏，更加成地抑制植物的生長與數量。本調查結果亦與此理論相符合，即濁泥量高達 250 mg/l 的 A4 測站，磷酸鹽及矽酸鹽的含量皆低於其他測站 (A1、A2、A3、A5、A6、A7、A8、A9)，直接影響藻類無法生長，使葉綠素甲受到光線和營養鹽變化的雙重作用，含量大為降低 (Table 2)，故牡蠣之食物大為減少。

水域中 pH 值和溶氧兩者皆受濁泥多寡的影響 (Chen *et al.*, 1973)。據 Satomi (1967) 指出藻類繁生時，光合作用的結果消耗水中大量的 CO_2 、 HCO_3^- 以及有機酸做為碳素來源，而產生氧氣，造成 pH 值增加，水中溶氧升高。由於，A4 測站葉綠素甲含量減少，消耗 CO_2 的量也隨之降低，氧氣的產生速度亦受抑制，所以 pH 值及溶氧有顯著下降的現象。再則，化學須氧量 (COD) 與溶氧呈負相關，即 COD 增加則溶氧減少，此乃表示水中有機化合物很多，通常會使生物不易生存。

此次野外調查的結果亦發現在 A4 測站，重金屬中，銅、鋅及鎳之含量有增加趨勢，尤以銅增加最多，而鉛、鉻和汞的含量則無此現象 (Table 3)。在 1986 年 4 月間此海域之北面發生綠牡蠣事件，推測可能此海域附近有以銅、鋅為主的廢水排放，且長期沉積於海底，正巧此次抽砂工程，使底層泥砂大量懸浮於水中，將重金屬釋再度出的結果，幸好，其範圍不大。

植物性浮游生物之消長，為水產資源變化最明顯的指標。因為水域中有機物質，大部份都依賴浮游植物的光合作用而形成，而浮游動物及固棲生物皆直接、間接仰賴浮游植物之產生。Odum (1971) 指出植物性浮游生物種類愈多，生態愈穩定。因此，測 A4 站受到濁泥影響，使光線 pH 值、溶氧及營養鹽改變，植物性浮游生物的種類和數量均較其他測站少。動物性浮游生物也直接受到影響，在 A4 測站仍有減少的現象。故知高濃度的濁泥對浮游生物的不良影響。再者，在 A4 測站，牡蠣殼長、活存率及附著於牡蠣殼上的生物 (如：*Salmacina* sp., *Balanus* sp., *Anomia* sp.) 數目亦皆有顯著減少，愈能證實這些都是因為濁泥所引起。Loosanoff (1961) 指出死亡牡蠣是受濁泥堵塞鰓部所致。另一方面，也受到食物減少的結果，而使生長停滯，與本試驗之調查結果及研究相當一致。故濁泥為此次牡蠣大量死亡之主因。因此欲減少其對牡蠣或水生生物之影響，應該每隔一段時間即要休息或停止抽砂一星期，才多少能減低其危害性。

Loosanoff (1961) 指出 *C. virginica* 在 125、250 和 500 mg/l 的濁泥中，分別有 95、73 和 21% 的幼虫發育至 straight-hinge stage，而 1,000 mg/l 濁泥只有 3% 孵化至此期，濁泥量更多則無幼虫生存。

牡蠣開殼的大小與狀況有助於了解牡蠣的生理變化及對環境改變時之反應。Loosanoff and Tommers (1948) 曾利用波動記錄器 (Kymograph) 記錄 *Ostrea virginica* 在濁泥下開殼的振幅變化與 Control 有很大差異，且波型也不同。在本研究中 *C. gigas* 開殼率，在 1 g/l 濁泥時，即顯著下降，在 2 g/l 濁泥中，只有 22.5% (Table)。故開殼率仍是一個相當良好的牡蠣之生理與環境指標。所以，當環境變化超過本身能力調節範圍時，暫時的緊閉雙殼可能是較佳的方法。

牡蠣藉著濾食作用以維持生存及成長。Winter (1969; 1970; 1976) 研究 *Mytilus edulis* 在不同食物濃度中 ($10 \sim 40 \times 10^6$ cells/ml)，其攝食率幾乎維持一致。因此，水中藻類的濃度並不影響其攝食率，而在本研究中，藻類濃度亦已維持一定，故 *C. gigas* 攝食量在高濃度濁泥中降低的原因，完全係其開殼或濁泥塞滿整個鰓腔及鰓裂，導致其濾食作用與功能減低。在野外調查的牡蠣中，亦發現有相同之現象。

養殖的目的是期望養殖生物能達到最好的成長效果，而影響成長的因素是攝食量，即食物攝取量

增加者，其成長亦愈快 (Winter, 1974; Langton *et al.*, 1977)。Urban and Langdon (1984) 曾證明 *C. gigas* 在濁泥、酵母和小米澱粉混合藻類時，成長增加。Kjørboe *et al.* (1981) 曾指出 *Mytilus edulis* 在濁泥中成長增加之主要原因：(1)濾水率和攝食量增加；(2)濁泥粒子吸附溶解性有機物質，而使營養物的利用價值提高；(3)由於濁泥粒子使高濃度藻類產生稀釋作用 (dilution) 且在胃內對藻類細胞壁有磨碎作用 (grinding effect)，因而提高吸收效率。本實驗亦發現在 0.05、0.1 和 0.5 g/l 濁泥中，成長率增加，與上述結果相同。而在 1 和 2 g/l 濁泥中，成長速度緩慢，乃由於濁泥過多時，牡蠣不斷分泌黏液保護自己，導致能量嚴重消耗及攝食量減少的緣故。Propp (1977) 曾指出海洋無脊椎動物會有 10~60% 能量從排泄和黏液中損失。因此，養殖場中濁泥太多時，牡蠣成長及肥滿度會受到限制，即使長期的養殖亦無法大量的成長。

由耗氧量的研究可知生物與環境因子間之關係，亦即了解生物本身所受代謝能力的影響 (Winter, 1978) 與對能量利用的狀況 (Navarro and Winter, 1982)。在本實驗中牡蠣的耗氧量及耗氧方式以 0.05、0.1 和 0.5 g/l 濁泥中與 Control 較相近。此結果與濾食之研究結果一致。此意謂著耗氧量的增加甚受攝食量所影響，因為攝食量將消耗身體的能量，而却須要較高的耗氧量。在高濃度濁泥中情形正好相反，雖不會使牡蠣立即致死，但是，却使呼吸生理受到抑制，更有力地證實濁泥會使牡蠣衰弱致死的論點。

Loosanoff and Davis (1963) 指出二枚貝的整個生活史，對濁泥非常敏感。本試驗在野外調查和實驗室濁泥試驗的相互印證下，亦證明濁泥的存在，會使牡蠣生理及幼生的存活受到抑制，進而破壞整個生態系的平衡。因此，如何減少濁泥之危害，應為相當重要的問題。Loosanoff and Tommers (1948) 曾將生活在高濁泥中的牡蠣 *O. virginica* 放入清水中，結果，牡蠣快速恢復開殼及濾水，且速率超過 Control。Davis (1960) 也曾將在 2 及 4 g/l 濁泥中孵化 48 小時的 straight-hinge stage 幼生放回 Control，結果全部活存且成長至變態期，故知短暫的濁泥影響是可忍受及復原的。在實驗室內，若將濁泥靜置時，則能於天數內大部分沉底，而減少濁度。在定期的野外調查中，亦發現有時在施工區的濁度甚低。因此，猶如前述，若於施工時，每隔一段時間停工一至二星期，則其危害性將不大。

因此，建議在水體用途分類及水產用水基準中，可訂定濁泥的基準為 0.05 g/l。另外，在養殖牡蠣時，亦可加入 0.05 g/l 濁泥，使其成長加速，且可得到最佳的肥滿度。

參 考 文 獻

- 巫文隆、張崑雄 (1976)。臺灣經濟貝類產量分析。貝類學報 (中國貝誌), 3: 79-94。
 陳弘成 (1979)。除油劑及油污對生物之影響，布拉哥油災漁業調報告。
 陳弘成、趙國孝 (1980)。石蚌之氧氣耗氧量研究。貝類學報, 7: 87-100。
 山本謹太郎 (1956)。種種の成長段階の帆立貝の環境に對する抵抗性について。特に鰓の纖毛運動に對する懸濁浮泥。酸素欠乏などの影響。日本生態學會誌, 5: 172-175。
 山本謹太郎 (1957)。Tolerance of scallop spats on suspended silt, low oxygen tensions high and low salinities and sudden temperature change. *Rci. Rep. Tohoku Univ., IV. Ser. (Biol.)*, 23: 73-82。
 岡田 要 (1958)。原色動物大圖鑑。北陸館。東京。Vol. 4. pp. 247。
 山路 勇 (1966)。日本海洋プランクトン圖鑑。保育社。pp. 369。
 伊藤鉦太郎 (1972)。工場排水試驗方法。JIS0102, 日本規格協會。東京。
 山路 勇 (1974)。日本プランクトン圖鑑。保育社。pp. 382。
 AOAC (1980). Method of analysis. In: W. Horwitz (ed.) 11th. edition, Association of Official Analytical Chemists, Washington D. C., pp. 925。
 Bower, C. E. and H. H. Thomas (1980). A simplified hydrazine-reduction method for determining high concentration of nitrate in recirculated sea-water. *Aquaculture*, 21: 281-286。
 Bergmeyer, H. U. (1983). Methods of enzymatic analysis. 3th edition, Weinheim, Florida Academic Press, New York and London。
 Board, Patrick (1983). The settlement of post larval *Mytilus edulis*. *J. Moll. Stud.*, 49: 53-60。

- Chen, H.C., H.C. Lee, C.Y. Liu, S.H. Chen and M.C. Fsieh (1973). Study on the ecosystem in Tinan canal. Chinese-American Joint Commission on Rural Reconstruction Fisheries Series, 15: 7-28.
- Chen H.C. and Jone D. Slinn (1980). Osmoregulation of the prawn, *Palaemon elegans* exposed to some heavy metals. *J. of the Fisheries Society of Taiwan*, 7(1): 1-13.
- Davis, H.C. (1953). On food and feeding of larvae of the American oyster, *C. virginica*. *Biol. Bull.*, 104: 334-350.
- Davis, H.C. and R.R. Guillard (1958). Relative value of ten genera of micro-organisms as foods for oyster and clam larvae. *U.S. Fish and Wildlife Service Fish. Bull.* 136, 58: 293-304.
- Davis, H.C. (1958). Survival and growth of clam and oyster larvae at different salinities. *Biol. Bull.*, 114: 296-307.
- Davis, H.C. (1960). Effects of turbidity-producing materials in sea water on eggs and larvae of the clam (*Venus (Mercenaria) mercenaria*). *Biol. Bull.*, 118: 48-54.
- Dall, W. (1981). Osmoregulatory ability and juvenile habitat preference in some penaeid prawns. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 54: 55-64.
- Edmondson, W. T. (1969). Eutrophication in North America. In eutrophication, Causes, Consequences. Correctives. Nat. Acad. Sci. Washington, D. C., pp. 124-149.
- EPA (1979). Methods for chemical analysis of waters and wastes. U.S., EPA-600/4-79-020.
- Gunstone, F.D. (1958). The chemistry of fat and fatty acids, John Wiley and Sons, New York.
- Galtsoff, P.S. (1964). The American oyster. Fishery Bull. Fish Wildl. Serv. U.S., Vol. 65, pp. 1-480.
- Giese, A.C. (1969). A new approach to the biochemical composition of the mollusc body. Oceanography and Marine Biology. *An Annual Review*, 7: 175-229.
- Gabbott, P.A. and A.T.M. Walker (1971). Changes in the condition index and biochemical content of adult oysters (*Ostrea edulis* L.) maintained under hatchery conditions. *J. du conseil conseil permanent international pour l'exploration de la mer*, 34: 99-106.
- Gabbott, P.A. and Bayne, B.L. (1973). Biochemical effects of temperature and nutritive stress on *Mytilus edulis* L. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 53: 269-286.
- Hutchinson, G.E. (1944). Limnological studies in Connecticut VII. A critical examination of the supposed relationship between phytoplankton periodicity and chemical changes in lake water. *Ecol.*, 25: 3-26.
- Harrison, A.D. and T.D.W. Farina (1965). A naturally turbid water with deleterious effects on the egg capsules of planorbid snails. *Ann. Trop. Med. Parasit.*, 59: 327-330.
- Hutchinson, G.E. (1967). A treatise on limnology: Vol. II. Introduction to lake biology and the limnoplankton. John Wiley and Sonc. New York. pp. 1115.
- Holland, D.L. and B.E. Spencer (1973). Biochemical changes in fed and starved oysters, *Ostrea edulis* L. during larval development, metamorphosis and early spat growth. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 53: 287-298.
- Helm, M.M. and P.F. Millican (1977). Experiments in the hatchery rearing of Pacific oyster larvae (*Crassostrea gigas* Thunberg). *Aquaculture*, 11: 1-12.
- Kiørboe, T., F. Møhlenberg and O. Nøhr (1980). Feeding, particle selection and carbon absorption in *Mytilus edulis* in different mixtures of algal and resuspended bottom material. *Ophelia*, 19: 193-205.
- Kiørboe, T., F. Møhlenbeyg and O. Nøhr (1981). Effect of suspended bottom material on growth and energetics in *Mytilus edulis*. *Mar. Biol.*, 61: 283-288.
- Loosanoff, V.L. and J.B. Engle (1947). Effect of different concentration of micro-organisms on the feeding of oysters (*O. virginica*) Fishery Bull. *Fish Wildl. Serv. U.S.*, 51: 31-57.
- Loosanoff, V.L. and F.D. Tommers (1948). Effect of suspended silt and other substances on rate of feeding oysters. *Science N. Y.*, 107: 69-70.
- Loosanoff, V.L., W.S. Miller and P.B. Smith (1951). Growth and setting of larvae of *Venus mercenaria* in relation to temperature. *J. Mar. Res.*, 10: 59-81.
- Loosanoff, V.L. and H.C. Davis (1953). Utilization of different food organisms by clam larvae. *Anat. Rec.*, 117: 646.
- Loosanoff, V.L., H.C. Davis and P.E. Chanley (1953). Behavior of clam larvae in different concentrations of food organisms. *Anat. Rec.*, 117: 586-587.
- Loosanoff, V.L. (1961). Effects of turbidity on some larval and adult bivalves. *Proc. Gulf Caribb. Fish. Inst.*, 14: 80-95.
- Loosanoff, V.L. and H.C. Davis (1963). Rearing of bivalve mollusc. In: advanced in Marine

- Biology. F.S. Rusself edition. Vol. I. Academic Press., New York, pp. 2-136.
- Lewis, J.R. (1964). The Ecology of Rocky Shores. English Universities Press, London.
- Lee, G.F. (1970). Eutrophication. Univ. Wis. Water Resource Center, Occasional Paper. No. 2, pp. 39.
- Langton, R.W., J.E. Winter and O.A. Roels (1977). The effect of ration size on the growth and growth efficiency of the bivalve mollusc *Tapes japonica*. *Aquaculture*, **12**: 283-292.
- Lively, J.S., K. Kaufman and E.J. Carpenter (1983). Phytoplankton ecology of a barrier island estuary: Great South Bay, New York. *Estuar. Coastal Shelf Sci.*, **16**: 51-68.
- Miller, K.Z., A.W. Pritchard and P.S. Rueledge (1976). Respiratory regulation and the role of the blood in the burrowing shrimp *Callinassa californiensis*. *Mar. Biol.*, **36**: 223-242.
- Møhlenberg, F. and T. Kiørboe (1981). Growth and energetics in *Spisula subtruncata* (Da Costa) and the effect of suspended bottom material. *Ophelia*, **20**: 79-90.
- Nagel, H. (1934). Die Aufgaben der Exkretionsorgane und der Kiemen bei der Osmoregulation von *Carcinus maenas*. *Z. Vergleich. Physiol.*, **21**: 468-491.
- Navarro, J.M. and J.E. Winter (1982). Ingestion rate, assimilation efficiency and energy balance in *Mytilus chilensis* in relation to body size and different algal concentrations. *Mar. Biol.*, **67**: 255-266.
- Odum, E.P. (1971). Fundamentals of ecology. 3rd ed., W.B. Saunders Co. Philadelphia. pp. 574.
- Propp, M.V. (1977). Ecology of the sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis* of the Barents Sea: metabolism and regulation of abundance. *Biol. Morya*, Vol. I, pp. 39-51.
- Rand, M.C., A.E. Greenberg and M.T. Taras (1976). Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association. Washington, D.C., pp. 1119.
- Smyth, J.C. (1955). A study of the benthic diatoms of Lough Swilly (Argyll). *J. Ecol.*, **43**: 149-171.
- Satomi, Y. (1967). Physiological significance of carbon source in fertilized fish ponds. FAO. World Symposium on Warm-Water Pond Fish Culture. *Fisheries Rep.*, **44**: 257-264.
- Solorzano, L. (1969). Determination of ammonia in natural waters by the phenylhypochlorite method. *Limnol. Oceanogr.*, **14**: 799-801.
- Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons (1972). A practical handbook of seawater analysis. Fisheries Research Board of Canada. Ottawa. pp. 311.
- Sharp, J.W. et al. (1978). Effect of keithane and temperature on the respiration of *Crangon franciscum*. *Comp. Biochem. Physiol.*, **59**: 75-79.
- Taylor, A.C. and A.R. Brand (1975). Effect of hypoxia and body size on the oxygen consumption of the bivalves *Arctica islandica*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **19**: 187-196.
- Urban, E.R. Jr. and C.J. Langdon (1984). Reduction in costs of diets for the American oyster, *Crassostrea virginica* (Gmelin), by the use of non-algal supplements. *Aquaculture*, **38**: 277-291.
- Vahl, O. (1980). Seasonal variations in seston and in the growth rate of the Iceland scallop *Chlamys islandica* (O.F. Muller) from Balsfjord 70 N. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **48**: 195-204.
- Westfall, B.A. (1945). Coagulation film anoxia in fishes. *Ecology*, **26**(3): 283-287.
- Winter, J.E. (1969). Über den Einfluss der Nahrungskonzentration und anderer Faktoren auf Filterleistung und Nahrungsausnutzung der Muscheln *Arctica islandica* und *Modiolus modiolus*. *Mar. Biol.*, **4**: 87-135.
- Winter, J.E. (1970). Filter feeding and food utilization in *Arctica islandica* L. and *Modiolus modiolus* L. at different food concentrations. In: J.H. Steele (ed.), Marine Food Chain. Oliver and Boyd, Edinburgh, pp. 196-206.
- Winter, J.E. (1974). Growth in *Mytilus edulis* using different types of food. *Ber. Dtsch. Wiss. Kommn Meeresforsch.*, **23**: 360-375.
- Winter, J.E. (1976). Feeding experiments with *Mytilus edulis* L. at small laboratory scale. II. The influence of suspended silt in addition to algae suspensions on growth. Proc. 10th. Eur. Mar. Biol. Symp. G. Persoone and E. Jaspers. Wetteren. Edition. Wetteren. Belgium: Universea Press. pp. 583-600.
- Winter, J.E. (1978). A review on the knowledge of suspension-feeding in lamellibranchiate bivalves, with special reference to artificial aquaculture systems. *Aquaculture*, **13**: 1-13.
- Widdows, J.P., Fieth and C.M. Worrall (1979). Relationships between seston, available food and feeding activity in the common mussel *Mytilus edulis*. *Mar. Biol.*, **50**: 195-207.