

十三、沿岸海洋生態環境保護

—沙岸底棲生物環境因子測定

陳勇輝¹ 陳一鳴¹ 陳章波²

1. 國立中山大學海洋資源系

2. 中央研究院動物研究所

摘 要

生態環境保護工作的落實與否，首在於對所要保護的環境有所了解之後，方能定出有效的方法，以達保育生態環境的目的。因而環境因子的測定是否能反應生態環境變動的情形，成了環境調查工作中的首要課題。因此，本文的目的將以沙岸底棲生物的調查方法為例，藉以說明沿岸生態環境調查中，那些生態環境因子（如泥溫，底質顆粒大小，有機質含量，水流方向，波浪力量等等）會影響底棲生物棲息的生態環境，及測定這些環境因子時應注意的事項，藉以達環境測定數值的有效性。並以國內外有關底棲生物調查的資料的綜合整理分析為輔，作一綜合分析討論，以為將來沿岸生態環境調查工作之參考。

1. 前 言

保護生態環境的首要工作，在對於所要保護的環境有整體而完善的了解。因此有效地測定環境因子的變動情形，藉以了解自然環境的變化，成為不可或缺的基礎工作。近年來國內環保意識逐漸普遍，環境評估的工作也由初步的調查提昇至長期監測的階段，進而尋找適當的生物種類作為長期監測環境變化的預警系統。

臺灣西岸大多為沙岸。以往海域生態環境大型的評估計畫中，都曾調查底棲生物，除對其生物相有初步的了解外，同時對底棲羣聚的族羣亦有簡單的分析，但對其棲息的底質環境未曾詳細調查，尤其是有機質的含量、底質顆粒大小、底質的含水量、緊密力、空隙度、通透性、毛細作用、水流、葉綠素 a、泥溫、底質中的溶氧、底質中的酸鹼值及氧化電位值等却未有詳實的研究調查（見表一）（吉興，1988；蘇等，1986, 1988a, 1988b；洪等，1988；陳及郭，1989；陳等，1989；譚及曾，1988）。然而這些底質環境因子，却是影響底棲生物的生理生態及習性的重要因素。

因此，本文的目的在於將國內外相關底棲環境之研究報告作一整理討論，藉此提供測定底棲環境的資訊，以為將來沿岸底棲生態環境評估之參考。

2. 環境因子測定

2.1 顆粒大小

沉積物中顆粒的大小會影響底棲生物的生理生態狀況。腹足類 *Hydrobia truncata* 對沙粒上有機碳的吸收率要高對細泥中的吸收率 (Forbes & Lopez, 1989)。端腳類 *Siphonocetes dellavallei* 在相同的食物濃度下較喜攝食較大的食物顆粒 (Guidi, 1986)。而不同的底泥特性也會影響底棲生物的分佈 (Ishikawa, 1989)。如端腳類 *Pectengammarus planicrurus* 大多分佈於顆粒大小中間值 (D_{50}) 在 4 mm 所組成的沙地底質中 (Morgan, 1970)。貽貝 *Mytilus edulis* 較多分佈於以礫石

表一 近五年內臺灣海域評估計畫環境因子測定概況

Table 1. Outline of survey of environmental factors in the coastal waters around Taiwan during 1986 to 1989

研究地點 測定因子	蘇 澳	鹽 寮	梧 棲	通 霄	永 安	茄 荳	旗 津	澎 湖
有機質	—	—	—	+	+	+	—	—
顆粒大小	—	—	+	+	—	—	+	—
組成比例	—	—	—	+	—	—	+	—
含水量	—	—	—	+	—	—	—	—
空隙度	—	—	—	—	—	—	—	—
緊密力	—	—	—	—	—	—	—	—
毛細作用	—	—	—	—	—	—	—	—
底質溫度	—	—	—	+	—	—	—	—
水 溫	+	+	+	+	+	+	+	+
鹽 度	+	+	+	+	+	+	+	+
水中溶氧	+	+	+	+	+	+	+	+
底質溶氧	—	—	—	—	—	—	—	—
BOD	+	—	—	+	—	—	+	—
COD	+	—	—	+	+	+	+	+
水中酸鹼值	+	+	+	+	+	+	+	+
底質酸鹼值	—	—	—	—	—	—	—	—
氧化還原電位值	—	—	—	—	—	—	—	—
水中葉綠素 a	+	+	+	+	+	+	+	+
底質葉綠素 a	—	—	—	—	—	—	—	—
營養鹽	+	+	+	+	+	+	+	+
參考文獻	益鼎, 1988	蘇等, 1988a	洪等, 1988	吉興, 1988 陳等, 1989	蘇等, 1986	蘇等, 1988b	陳及郭, 1989	譚及曾, 1988

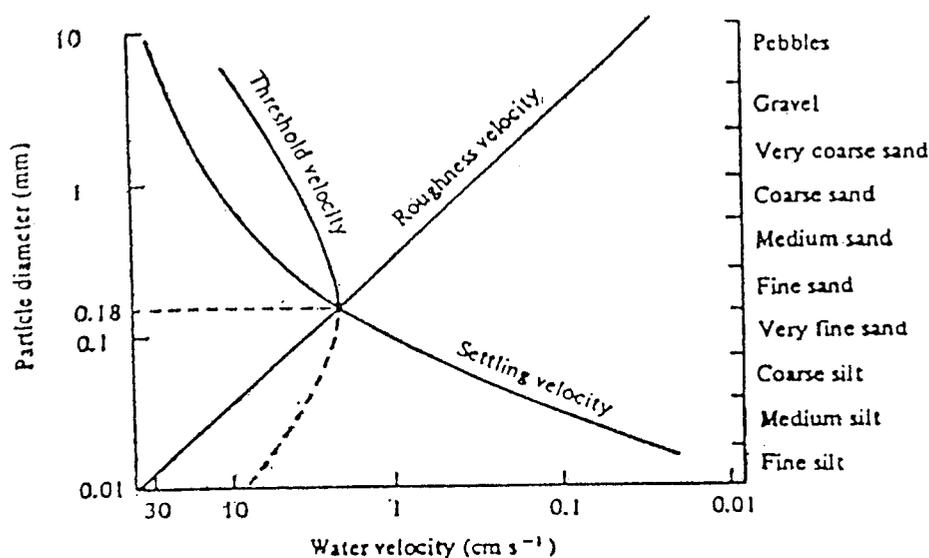
+ : 有測定 - : 無測定

爲主的沙地 (Young, 1983)。其它如, 多毛類、艾氏槍蝦都有相似的現象 (Vanosmael *et al.*, 1982; Jeng & Chang, 1988)。某些底棲生物的掘洞或築管而居的行爲, 也會改變其棲息底質環境中的通透性及緊密力 (Meadows & Tait, 1989)。

底質顆粒分析的項目通常包括大小、組成比例、含水量 (water content)、顆粒間的通透性 (permeability)、顆粒間的空間大小, 即空隙度 (porosity)、緊密力 (shear strength)、顆粒的毛細作用 (capillary rise) 等等。這些性質彼此息息相關; 含水量較多的底質, 其通透性較大, 顆粒間的空隙較大, 而緊密力則較小, 反之亦然。底質顆粒的大小及其組成的不同, 也會使底質的物理性質有所改變。

顆粒大小的分析, 是以定量烘乾的底質樣本, 經過不同網目大小的篩選分類之後, 計算不同顆粒大小的底質所佔重量百分比, 再藉機率紙的換算, 分析底質顆粒大小及其組成。環境中顆粒大小的分布與水流狀況息息相關 (圖一), 由於小顆粒較不易沉澱, 而大顆粒不易爲水流所帶走, 因此在水流較強的環境中 (如碎波帶) 其底質平均顆粒大小較大; 而水流強度較小的環境, 則較易沉澱小的顆粒。因而由底質顆粒的分析, 或多或少可以知道水流的情形。

底質中含水量的測定是以定量的底質樣本, 以 105°C 烘 24 小時至重量不再減少爲止, 計算樣本經熱處理前後相差的重量, 用以表示此底質中的含水量。



圖一 顆粒大小與流速關係圖。(摘自 Gray, 1981)

Fig. 1. The relationships between particle sizes and current speed for various factors affecting grain size distribution.

顆粒間的空間大小是指底質顆粒間體積佔全底質樣本體積的百分比。其測定方法是將定量的底質樣本沖洗除鹽之後再烘乾，再由計算所得的含水量，及乾燥後的底質重量，換算成體積，而後求得兩者的比例，作為空隙度的表示。因空隙度會隨深度而有所改變，因而測定時，須將深度的因素加以考慮。

顆粒間通透性是指水流經圓柱形定量底質樣品的速率而言。其大小影響底質中的水與外界水交換的難易程度，進而影響底質生態環境的變化，如底質的氧化還原電位、底質中化學物質與外界的交換等情形。值得注意的事在沙岸底棲生物的研究中，此因子的測定尚須考慮其在水平上與垂直上的作用。緊密力是指底質顆粒間彼此密合的程度而言。這兩個因子須藉儀器測定，再此不加以贅述，詳細的測定方式請參考 Meadows & Tait (1989)。

顆粒的毛細作用的測定，是將數個圓柱狀的底質樣本垂直固定於架上，待水份流乾後，將圓柱樣本的底部靜置於盛有淺水的盤中，待水柱不在昇高之後，測量水柱攀升的高度，以作為顆粒毛細作用大小的表示。

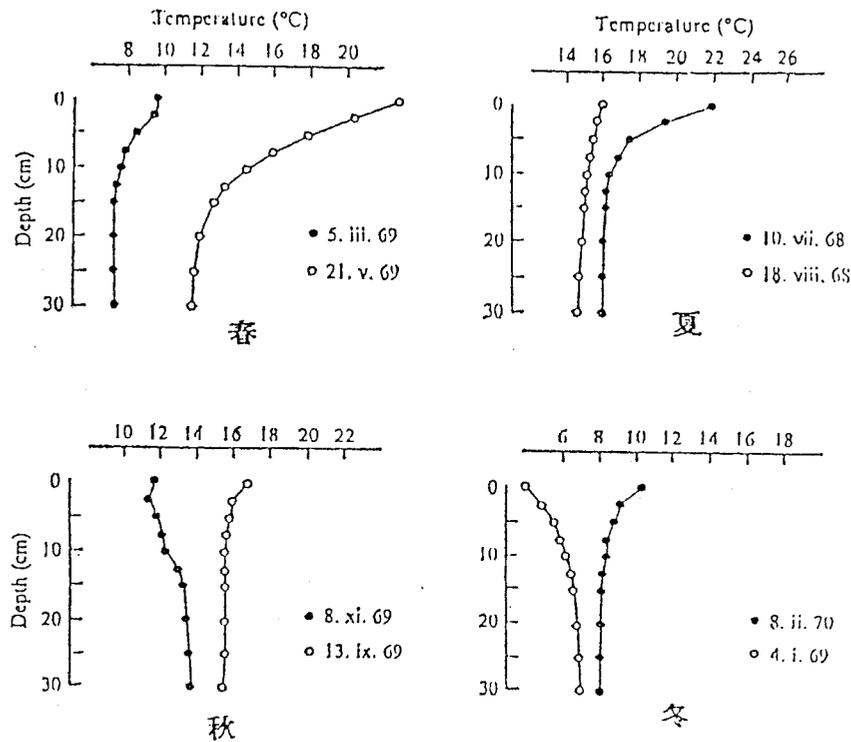
雖然這些因子都會影響底棲生態環境，然而除了大小的分析之外，其他方面的研究無論在國內外都是很少。

2.2 溫度

溫度是環境測定中不可或缺的項目之一。其影響生物的範圍甚廣，如底棲性橈腳類的生殖行為、分布及族羣動態 (Harris, 1972b; 1972c; 1972d)，甚至於整個羣聚的季節變動 (Moller, 1986) 等皆是。除此之外，溫度也是影響其它環境因子測定時的準確度的重要因子；如測定鹽度時，就必須考慮溫度的效應而加以校正。雖然測定水溫較測底質中溫度容易，然而底棲生物受底質中溫度的影響更為直接。水溫的測定可用溫度計直接測定，而底質的溫度測定，則會受底質的影響，而使得底質的溫度與底質表層的水溫有所不同。以沙岸而言，由於底泥本身是熱的絕緣體，泥溫會隨著深度的不同，而有所改變 (圖二) (Harris, 1972a)。

2.3 溶氧

底質中的溶氧常是影響生物分布的重要因素。多毛類 *Nereis* spp. 在低溶氧的狀況下會有行為



圖二 泥溫在不同季節的垂直分佈圖。(摘自 Harris, 1972a)

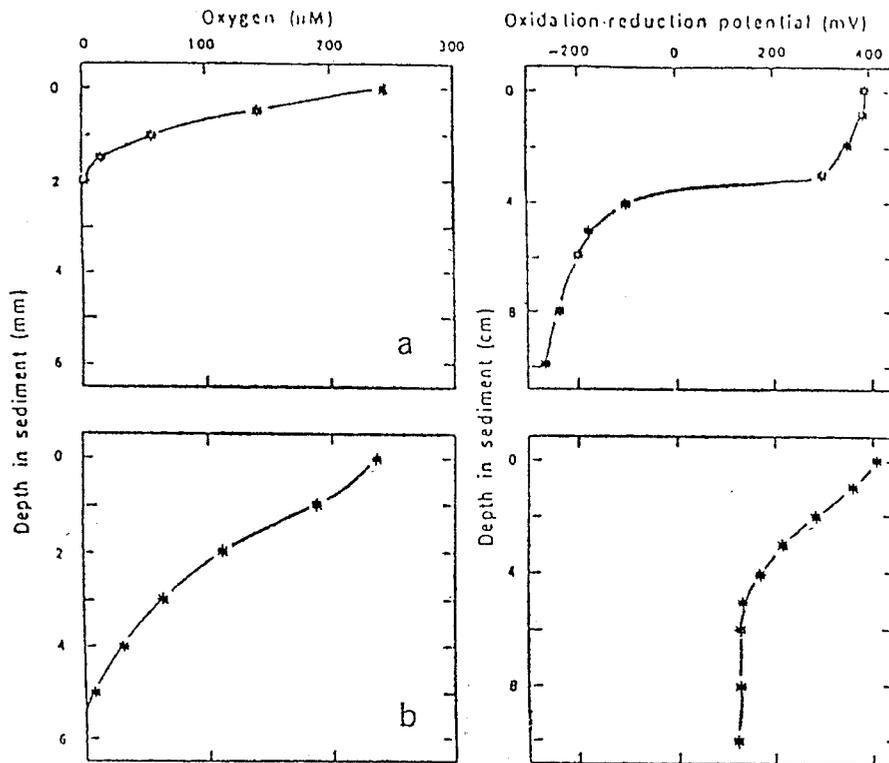
Fig. 2. Seasonal changes of sediment temperature at different depth.

上(如鰓擺動率的增加)或是生理上調節以增加溶氧吸收,以適應環境,而由於此種能力在種間有所差異,因而使得各種類的分布有所不同(Kristensen, 1983)。雖然,有少數的底棲生物能生活於無氧的底質中(Fenchel & Riedl, 1970)大部分的底棲生物對環境中溶氧的變化,仍相當敏感(Josefson & Widbom, 1988)。

水中溶氧可由儀器直接測定,或採取水樣的同時加以固定後帶回實驗室分析。而底質中的溶氧則因底質中的水流循環不良,溶氧的擴散速度不及探針膜上耗氧的速度,因此無法用一般的溶氧測定儀測定。而須採用分層分段抽取水樣的方式,再以 micro-Winkler 方法分析各層水樣中的溶氧(Brafield, 1964)。由於測定技術上的困難,使得底質環境中溶氧的測定頗為費時費力。Revsbech *et al.* (1980a, b) 以直徑 $2\sim 8\mu$ 的探針頭測定沿岸底質中的溶氧,發現 10 mm 深底質中的溶氧有隨土深的增加而遞減的趨勢(圖三)。而後又探針內部加裝保護性陽極(Internal Guard Silver Cathode)使得測定的穩定性大為提高,而適用於一般環境測定之用(Revsbech, 1989)。在此提出作為將來測定底質中溶氧的參考。

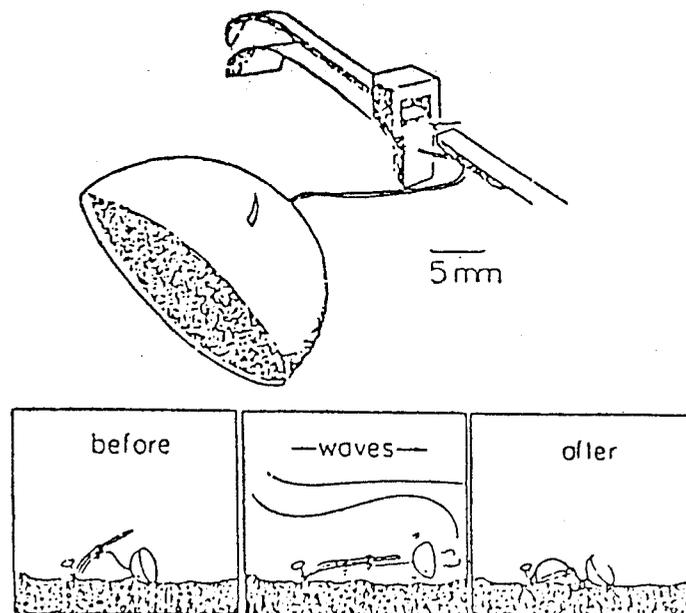
2.4 水流(潮汐)

水流是較少為學者所探討的環境因子;然而其對環境因子的變動,及生物的影響却不可忽視。波浪的攪動作用,可能使埋於底泥中的有機顆粒重新懸浮於水中,待水流靜止時沉積在底泥的表層,為表層的底棲生物所利用(Jenness & Duineveld, 1985);同時也會影響底棲生物分佈密度的變動(Palmer & Brandt, 1981; Fleeger *et al.*, 1984)。而水流的運輸作用除了影響沙岸地形的變動之外,底棲生物幼生的傳播,及成蟲的分佈也多與水流有關(Tamaki, 1987)。水流的作用中以波浪的力量較難以量化,Palumbi (1984) 以簡易的裝置(圖四)測定潮間帶波浪力量的變化,並證明同種生物受到不同波浪力量的影響之下,會改變身體組織狀態,以適應環境的變化(Palumbi, 1986)



圖三 底質溶氧垂直分佈圖。(摘自 Revsbech, 1980)

Fig. 3. Changes of dissolved oxygen and Eh in the sediment.



圖四 潮間帶波浪力量簡易測定裝置圖。(摘自 Palumbi, 1984)

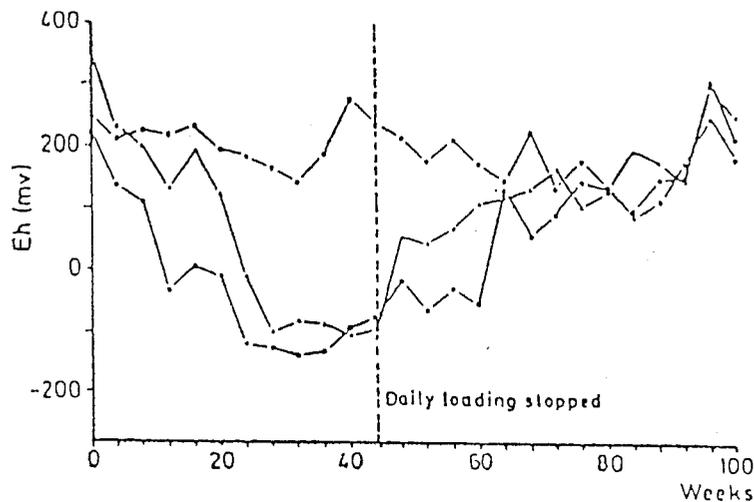
Fig. 4. A simple apparatus for measuring wave force in the intertidal area.

。除此之外，水流的流向及流速也是環境測定時都必須考慮的因素。

2.5 酸鹼值 (pH) 及氧化還原電位值 (Eh)

自然界中有機物，須藉微生物的分解作用，方能將其轉變成可為生物再利用的形式，而這些有機物的分解速率，與微生物生長環境中的酸鹼值有關 (Benner *et al.*, 1985; Kelly, 1984)。不同種底藻的羣聚行為也受到環境中的酸鹼值的影響 (Dixit & Dickman, 1988)。底質中影響酸鹼值的因素頗多如底藻的光合作用、微生物的分解作用等皆是。因而測定底質中的酸鹼值時，仍須考慮其在垂直深度上的變化情形。

底質中氧化還原電位的變化，可以反應底質中有機物分解的情形；當底質的有機物增加時，微生物的分解作用增強，因而使得氧化還原電位下降；當有機物逐漸減少時，氧化還原電位又會逐漸回升 (圖五)，因而可用作為有機污染的指標 (Pearson & Stanley, 1979)，或是用來比較河口底質中的化學變化 (Whitfield, 1969)。一般而言，底質中的氧化還原電位隨深度的增加而降低。底質有時會形成氧化還原電位的斷層 (Redox potential discontinuity layer)，此斷層的分佈深度會隨季節及底質的特性而改變；進而影響底棲生物的分佈深度，因此也是測定底棲生態環境所必須考慮的因子之一。



圖五 不同有機質量對氧化還原電位的影響。(摘自 Pearson & Stanly, 1979)

Fig. 5. Effects of organic matter on changes of redox potential in sediment.

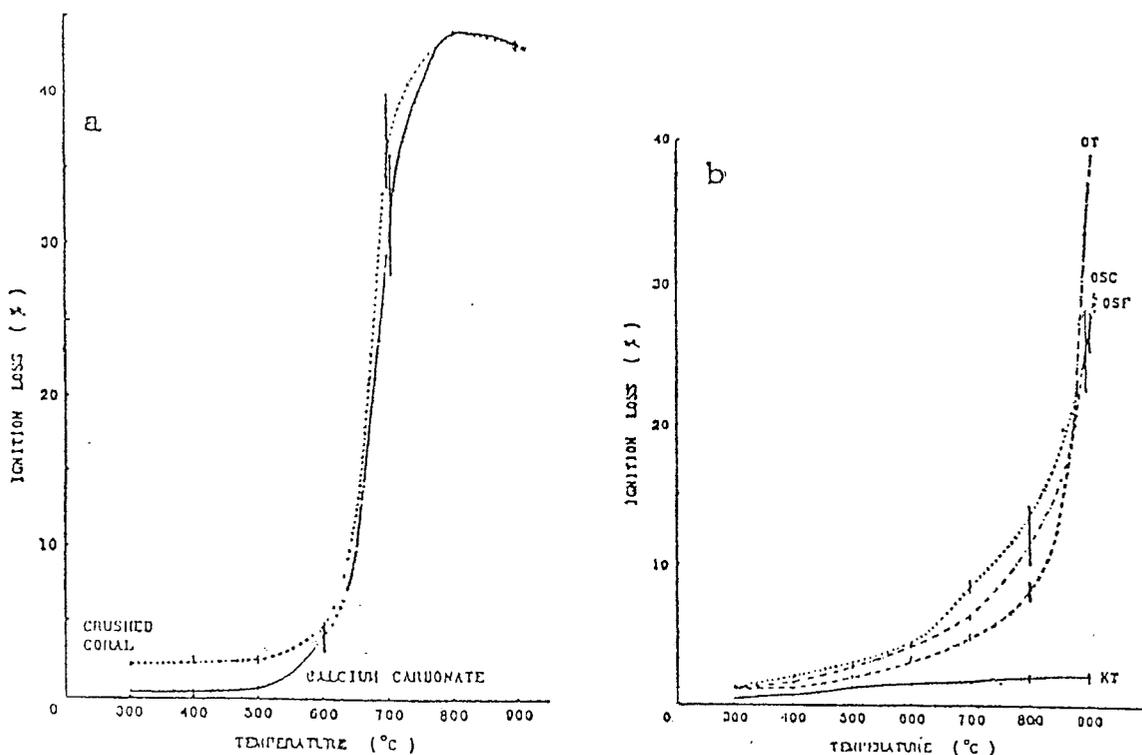
2.6 有機質

環境中的有機質含量 (Organic content) 的測定為調查底棲生態環境重要的項目之一。而實際上環境中的總有機質含量 (Total Organic Content) 是由有機碳 (Organic Carbon Content) 含量及無機碳 (Inorganic Carbon Content) 含量所組成的。有機碳來自生物有機體如屍體、細菌或微細藻類 (如底棲矽藻) 有機碳為底棲生物的重要食物來源。此量的多寡足以影響底棲生物羣聚中種的歧異度 (Whitlatch, 1981)、羣聚的代謝速率 (Kelly & Nixon, 1984) 等等。無機碳的成份以碳酸鹽為主，其中又以碳酸鈣的碎屑居多如珊瑚碎片、空貝殼等皆是。

常用測定有機質含量的方法有三種：(1)灰化法 (Loss-in-ignition)，(2)碳氫氮分析儀 (CHN-analyzer)，(3)鉻酸氧化滴定法 (Walkley & Black, 1934; El Wakeel & Riley, 1956)。三種方法當中，以前兩種方法較為普遍。灰化法是將定量的底泥樣本置於 105°C 烘乾後，再將樣本置於 400~600°C 高溫灰化爐中灰化數小時，而後計算其減少重量的百分比，作為此樣本有機質的含量。

此法在近幾年研究底棲生物時仍被採用。然而各學者所使用的灰化溫度從 475°C 至 600°C，灰化時間也從二小時到十六小時不等 (Rice, 1982; Varela & Penas, 1985; Moller, 1986; Kuwabara & Akimoto, 1986; Forbes & Lopez, 1989)。由於灰化溫度的高低及灰化時間的長短並無一定的標準，因而所測定的有機質含量，是否能真正測出環境中有機質含量值得懷疑。有鑑於此，日人 Kuwabara (1987) 用定量乾燥後的不同顆粒大小的海洋底泥樣本，以不同的灰化溫度及不同的灰化時間，以化學需氧量鑑定灰化後樣本所剩下的有機質含量，以比較灰化溫度高低及灰化時間長短對有機質含量測定的影響。研究中發現，灰化溫度高於 600°C 時，無機碳 (Inorganic carbon) 會大量地揮發，使得有機質的測定量偏高。適當的灰化溫度在 500°C，灰化時間以二小時已足以將底泥中的有機碳 (Organic carbon) 完全灰化 (圖六 a)，此外顆粒大小並無明顯的影響 (圖六 b)。雖然灰化法能估計底泥中的有機碳的含量，但卻無法估計有機氮 (Organic nitrogen) 的含量及免除灰化過程中部份無機碳也被灰化的誤差。

為彌補灰化法的缺失，提高環境內有機質含量測定的準確性，因而碳氫氮分析儀在近十年中，廣為研究人員使用 (Hopkinson & Wetzel, 1982; Ishikawa, 1989)。此法的優點在於可準確地分析出底泥樣本中總碳含量 (Total organic carbon)，有機、無機碳及有機氮的含量。此外底泥樣本在放入分析儀之前，先用稀釋酸液處理，消除無機碳之後，方進行有機碳的分析，因而提高了有機碳測定的準確性。但用酸液處理的過程中，有些溶解性的有機碳 (Dissolved organic carbon) 會



圖六 a 不同底質成份在各灰化溫度下灰化的結果。(摘自 Kuwabara, 1987)

Fig. 6a. Changes of ignition loss by the cumulative ignition of 1 hour at every increased 100°C stepwise in sediments from Okinawa shallow waters and Kasai tidal flat. KT: Kasai tidal flat. OSF: Okinawa fine sand. OSC: Okinawa coarse sand. OT: Okinawa tidal flat.

圖六 b 不同底質顆粒大小灰化結果比較圖。(摘自 Kuwabara, 1987)

Fig. 6b. Changes of ignition loss by the cumulative ignition of 1 hour at every increased 100°C stepwise in crushed coral and CaCO₃ reagent.

流失，而使測定值偏低。因此處理過後的酸液仍須保留，以分析酸液中溶解性有機碳的含量。Froelich (1980) 以 1N 磷酸 (Phosphoric-acid) 處理底泥樣本，而後滴定溶解於酸液中的有機碳的量，加上碳氫氮分析儀有機碳測定量，合為總有機碳的含量。而 Van Pieren 及 Helder (1985) 改用 1N 鹽酸處理樣本，改進乾燥酸化樣本的過程，以減少乾燥過程中所揮發的有機碳量，再以碳氫氮分析儀測定有機碳含量。此法簡化了分析過程，也提高了測定的準確度。

鉻酸氧化法的分析步驟多，且精確度受氧化劑氧化能力的影響，又只能測定環境中的有機碳的百分之七十五到九十五。而此比例會因沉積物種類的不同而異 (Holme & McIntyre, 1971)。

三種分析方法中以灰化法較為經濟實惠，而碳氫氮儀器價格昂貴非一般研究單位所能負擔且較適用於個體生物與環境關係的研究上，灰化法的操作步驟較為簡易，因而利於大量樣品的處理，故較適用於環境評估。鉻酸氧化法由於費時費力準確度又不高，現已少為研究人員所採用。

2.7 葉綠素 a

葉綠素 a 的含量常被用作環境基礎生產力 (Primary production) 的指標 (Leach, 1970; Varela & Penas, 1985)。自然界中葉綠素 a 的含量會隨季節的變化而改變，在沉積物中的分佈也隨深度上的不同而異 (Steele & Baird, 1961, 1968)。此外，葉綠素 a 的含量也可作為食物多寡 (即藻類濃度) 的函數，如底棲藻類的分佈情形會左右以藻類為食的橈腳類的分佈 (Decho & Castenholz, 1986; Decho & Fleeger, 1988)。然而以分光光度計 (Spectrophotometer) 或以螢光光度計，測定經丙酮或甲醇萃取後的樣本的分析方法 (Lorenzen, 1967; Tett *et al.*, 1975)，並不能測定出真正的葉綠素 a 的含量，因藻類所含的其它色素中，如 pheophytin a, pheophorbide a, chlorophyllide a，與葉綠素 a 的吸收光譜相同，因此所測得的葉綠素 a 值並非純葉綠素 a 的含量，而是相同吸收光譜的色素含量的總和。為改善此誤差，Whitney & Darley (1979) 以 hexane 將葉綠素 a 由丙酮萃取液中與其他色素分離，再以分光光度計測定葉綠素 a 的含量，因而所測得的葉綠素 a 含量較為準確。

3. 結 論

雖然環境因子可以獨立地逐一加以測定，而彼此却息息相關。猶如瞎子摸象一般，環境的變動情形是不可以藉由一、二個單獨因子的測定而加以解釋；亦不可以藉用單一的環境因子變動，以解釋其與生物生理或行為上的變化的關係。此乃一方面生物是同時對所有的環境因子有所反應；另一方面則是我們無法同時測定所有的環境因子，更何況環境是隨時都在變動，因子之間平衡的關係更是難以推測。不可諱言地尚有許多環境因子仍須考慮，如重金屬在自然界的分佈及影響、人工試藥及化學產品對生態環境的衝擊等，都是將來在環境測定的工作中應列入考慮項目。

謝 辭

感謝臺灣電力公司對通霄計畫的支持，使得此一文稿得以完成，特此誌謝。

參 考 文 獻

- 吉興工程顧問公司 (1988)。通霄發電廠複循環第四、五號機發電計畫環境評估報告，臺灣電力公司。
 益鼎工程公司 (1988)。蘇澳火力發電計畫環境影響評估期中報告，臺灣電力公司。
 陳鎮東、郭景聖 (1989)。爐石、煤灰填海對海洋環境生態之影響，行政院環境保護署。
 陳鎮東、洪佳章、魏兆歆、沈建全、羅文增、李玉玲、陳章波、陳一鳴、方力行、邵廣昭、袁彼得、徐基新、劉仲康、羅夢娜 (1989)。苗栗縣通霄鎮附近海域生態環境調查。第一年執行期末報告。
 洪楚璋、陳汝勤、黃穉、江永棉、譚天錫、巫文隆、范光龍、葉顯樞 (1988)。臺中縣梧棲鎮附近海域生態調查研究報告，國立臺灣大學理學院海洋研究所專刊第五十六號。

- 譚天錫、曾萬年 (1988)。澎湖縣西鄉附近海域生態調查。經濟部暨臺灣大學合辦漁業生物試驗所專刊。
- 蘇仲卿、洪楚璋、江永棉、譚天錫、陳堅強、范光龍、丁雲源 (1986)。中油公司永安區 LNG 進口站附近海域生態環境調查第一年執行報告。中央研究院國際環境科學委員會中國委員會專刊第四十六號。
- 蘇仲卿、洪楚璋、江永棉、譚天錫、張崑雄、邵廣昭、陳汝勤、黃哲崇、范光龍 (1988a)。鹽寮核能電場 (四廠) 附近海域生態研究綜合評估報告，中央研究院國際環境科學委員會專刊第六十號。
- 蘇仲卿、洪楚璋、江永棉、譚天錫、陳堅強 (1988b)。高雄縣茄萣鄉附近海域生態調查研究院國際環境科學委員會中國委員會專刊第六十五號。
- Benner, R.M., A. Moran and R.E. Hodson. (1985). Effects of pH and plant source on lignocellulose biodegradation rates in two wetland ecosystems, the Okefenokee Swamp and a Georgia salt marsh. *Limnol. Oceanogr.* **30**(3): 489-499.
- Brafield, A.E. (1964). The oxygen content of interstitial water in sandy shores. *J. Anim. Ecol.* **33**: 97-116.
- Decho, A.W. and R.W. Castenholz. (1986). Spatial patterns and feeding of meiobenthic harpacticoid copepods in relation to resident microbial flora. *Hydrobiologia* **131**: 87-96.
- Decho, A.W. and J.W. Fleeger. (1988). Microscale dispersion of meiobenthic copepods in response to food-resource patchiness. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **118**: 229-243.
- Dixit, S.S. and M.D. Dickman. (1986). Correlation of surface sediment diatoms with the present lake water pH in 28 Algoma lake, Ontario, Canada. *Hydrobiologia* **131**: 133-143.
- El Wakeel S.K. and J.P. Riley. (1956). The determination of organic carbon in marine mud. *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.* **22**: 180-183.
- Fenchel, T. and R.J. Riedl. (1970). The sulphide system: a new biotic community underneath oxidised layer of marine sand bottoms. *Mar. Biol.* **7**: 255-268.
- Fleeger, J.W., G.T. Chandler, G.R. Fitzhugh and F.E. Phillips. (1984). Effects of tidal currents on meiofauna densities in vegetated salt marsh sediments. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **19**: 49-53.
- Forbes, V.E. and G.R. Lopez. (1989). The role of sediment particle size in the nutritional energetics of a surface deposit-feeder. I. Ingestion and absorption of sedimentary microalgae by *Hydrobia truncata* (Vanatta). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **126**: 181-189.
- Froelich, P.N. (1980). Analysis of organic carbon in marine sediments. *Limnol. Oceanogr.* **25**(3): 564-572.
- Gray J. (1981). The ecology of marine sediments. Cambridge University press. London. pp. 185.
- Gudi, L.D. The feeding response of the epibenthic amphipod *Siphonocetes dellvallei* Stebbing to varying food particle sizes and concentrations. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **98**: 51-63.
- Harris, R.P. (1972a). The distribution and ecology of the interstitial meiofauna of a sandy beach at Whitsand bay, East Cornwall. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* **52**: 1-18.
- Harris, R.P. (1972b). Horizontal and vertical distribution of the interstitial harpacticoid copepods of a sandy beach. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* **52**: 375-387.
- Harris, R.P. (1972c). Reproductive activity of the interstitial copepoda of a sandy beach. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* **52**: 507-524.
- Harris, R.P. (1972d). Seasonal changes in the meiofauna population of an intertidal sand beach. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* **52**: 389-403.
- Holme, N.A. and A.D. McIntyre. (1971). Methods for the Study of Marine Benthos. F.A. Davis Company, Philadelphia, Pennsylvania, U.S.A. pp. 334.
- Hopkinson, C.S. and R.L. Wetzel. (1982). In situ measurements of nutrient and oxygen fluxes in a coastal marine benthic community. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **10**: 29-35.
- Van Iperen, J. and W. Helder. (1985). A method for the determination of organic carbon in calcareous marine sediments. *Mar. Geol.* **64**: 179-187.
- Meadows, P.S. and J. Tait. (1989). Modification of sediment permeability and shear strength by two burrowing invertebrates. *Mar. Biol.* **101**: 75-82.
- Moller, P. (1986). Physical factors and biological interactions regulating infauna in shallow boreal areas. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **30**: 33-47.
- Morgan, E. (1970). The effect of environmental factors on the distribution of the amphipod *Pectenogammarus planicrurus*, with particular reference to grain size. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* **50**: 769-785.
- Kelly J.R. and S.W. Nixon. (1984). Experimental studies of the effect of organic deposition on the metabolism of a coastal marine bottom community. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **17**: 157-169.
- Jeng M.S. and K.H. Chang. (1988). Study on the habit preference of the snapping shrimp. *Alpheus edwardsii* (Audouin). *Bull. Inst. Zool. Academic Sinica* **27**(2): 91-103.

- Jenness M.I. and G.C.A. Duineveld. (1985). Effects of tidal currents on chlorophyll a content of sandy sediment in the southern North Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **21**: 283-287.
- Josefson A.B. and B. Widbom. (1988). Differential response of benthic macrofauna and meiofauna to hypoxia in the Gullmar Fjord basin. *Mar. Biol.* **100**: 31-40.
- Leach J.H. (1970). Epibenthic algal production in an intertidal mudflat. *Limnol. Oceanogr.* **15**: 514-521.
- Ishikawa, K. (1989). Relationship between bottom characteristics and benthic organisms in the shallow water of Oppa Bay, Miyagi. *Mar. Biol.* **102**: 265-273.
- Kelly C.A., J.W.M. Rudd A., Furutani and D.W. Schindler. (1984). Effects of lake acidification on rates of organic matter decomposition in sediments. *Limnol. Oceanogr.* **29**(4): 687-694.
- Kuwabra, R. (1987). A study of the determination of ignition loss in the shallow-water sediments. *The Suisanzoshoku* **35**(1): 61-67.
- Kuwabra, R. and Y. Akimoto. (1986). The offshore environment of Tungkang, Southwest Taiwan. II Macrofauna. p. 193-198. In J.L. Maclean, L.B. Dizon and L.V. Hosillos (eds.) The first Asian Fisheries Forum. Asian Fisheries Society, Manila, Philippines.
- Kristensen, E. (1983). Ventilation and oxygen uptake by three species of Nereis (Annelida: Polychaeta). I. Effects of hypoxia. *Mar. Eco. Pro. Ser.* **12**: 289-297.
- Palmer, M.A. and R.R. Brandt. (1981). Tidal variation in sediment densities of marine benthic copepods. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **4**: 207-212.
- Palumbi, S.R. (1984). Measuring intertidal wave force. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **81**: 171-179.
- Palumbi, S.R. (1986). How body plans limit acclimation: responses of a demosponge to wave force. *Ecology* **67**(1): 208-214.
- Pearson, T.H. and S.O. Stanley. (1979). Comparative measurement of the redox of potential of marine sediments as a rapid means of assessing the effect of organic pollution. *Mar. Biol.* **53**: 371-379.
- Steele J.H. and I.E. Baird. (1961). Relations between primary production, chlorophyll and particulate carbon. *Limnol. Oceanogr.* **6**: 68-78.
- Steele J.H. and I.E. Baird. (1968). Production ecology of a sandy beach. *Limnol. Oceanogr.* **13**: 14-25.
- Tamaki, A. (1987). Comparison of resistivity to transport by wave action in several polychaete species on an intertidal sand flat. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **37**: 181-189.
- Tett, P., M.G. Kelly and G.M. Hornberger. (1975). A method for the spectrophotometric measurement of chlorophyll a and pheophytin a in benthic microalgae. *Limnol. Oceanogr.* **20**: 887-986.
- Revsbech N.P., B.B. Jorgensen and T.H. Blackburn. (1980a). Oxygen in the Sea bottom measured with a microelectrode. *Science* **207**: 1355-1366.
- Revsbech N.P., J. Sorensen and T.H. Blackburn. (1980b). Distribution of oxygen in marine sediments measured with microelectrodes. *Limnol. Oceanogr.* **25**(3): 403-411.
- Revsbech N.P. (1989). An oxygen microsensor with a guard cathode. *Limnol. Oceanogr.* **34**(2): 474-478.
- Rice, D.L. (1982). The detritus nitrogen problem: new observations and perspectives from organic geochemistry. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **9**: 153-162.
- Vanosmael, K.A., D. Willems, D. Claeys, M. Vicex and C. Heip. (1982). Macrofauna of a sublittoral sandbank in the southern bight of the North Sea. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* **62**: 521-534.
- Varela, M. and E. Penas. (1985). Primary production of benthic microalgae in an intertidal sand flat of the Ria de Arosa NW Spain. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **25**: 111-119.
- Walkley, A. and I.A. Black. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil. Sci.* **37**: 29-38.
- Whitefield, M. (1969). Eh as an operational parameter in estuarine studies. *Limnol. Oceanogr.* **14**: 547-558.
- Whitlatch R.B. (1981). Animal-sediment relationships in intertidal marine benthic habitats: some determinants of deposit-feeding species diversity. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **53**: 31-45.
- Whitney, D.E. and W.M. Darley. (1979). A method for the determination of chlorophyll a in samples containing degradation products. *Limnol. Oceanogr.* **24**(1): 183-186.
- Young, G.A. (1983). The effect of sediment type upon the position and depth at which byssal attachment occurs in *Mytilus edulis*. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* **63**: 641-651.

Conservation of Coastal Ecology and Environments
—Measurements of Environmental Factors
in Benthos in Sandy Coast

Chen Yung-Hui¹, Chen I-Ming¹ and Chen Chang-Po²

1. *Department of Marine Resources, Sun Yat-Sen
University, Kaohsiung, Taiwan, 80424, R. O. C.*

2. *Institute of Zoology, Academic Sinica, Nankang,
Taipei, Taiwan, 11529, R. O. C.*

ABSTRACT

The understanding of environment is the foundation of environmental conservation. Therefore, it is important to measure the environmental factors efficiently and precisely. The methods used in survey of benthic environments such as organic content, sediment temperature, particle size, permeability, porosity, shear strength, capillary rise, current speed, current direction, wave forces, chlorophyll a, dissolved oxygen, pH value, Eh etc. are addressed for improving environmental survey in Taiwan.