

十、臺灣多毛類研究之回顧及其在環保應用之展望

謝 蕙 蓮

中央研究院動物研究所

摘 要

多毛類屬環節動物門的一個綱，是大型海洋底棲無脊椎動物羣聚中的優勢羣。本文論述多毛類在底棲環境中所扮演的角色以及這個角色的重要性；並綜合整理、分析有關多毛類做為指標生物的應用。

1. 前 言

臺灣海域遼闊，孕育著相當豐富的海洋生物資源。由於人們的無知與輕忽，海洋環境正逐漸惡化，珍貴的生物資源也逐漸衰敗甚至走上滅絕的途徑。多毛類是一羣海洋無脊椎動物，分布於各類型的海洋棲所中。Barnes (1987) 指出在淺海、大陸棚斜坡及深海海底的環境中，多毛類佔了所有底棲動物相的 40%~80%。在研究海洋底棲生態時，多毛類是無法忽視的一羣。在沙泥地的底棲環境中，與軟體動物和甲殼動物同屬三大優勢羣。軟體動物和甲殼動物中有很多是食用經濟種，國人對這兩類動物當然不會陌生；相對而言，多毛類不適食用，只偶而做為釣餌。在國人「民以食為天」的觀念下，對多毛類的知識，便貧乏不足。

連帶的，在學術上有關臺灣產多毛類的研究和基礎資料便相當薄弱。筆者鑑於多毛類是底棲環境中重要的一環，其扮演的生態角色以及這個角色的重要性，並不能為軟體動物或甲殼動物所取代，因此撰就本文，介紹多毛類的一般生物學、在底棲環境中所扮演的角色以及在環保上做為指標生物的應用。

2. 多毛類簡介

2.1 一般生物特性

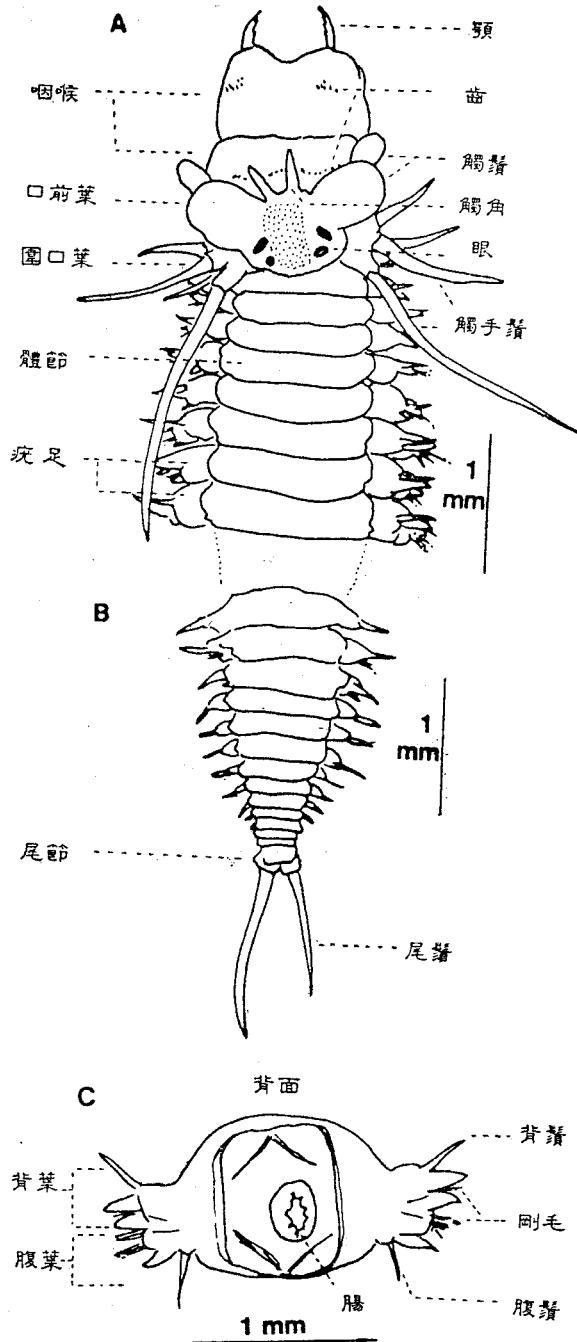
多毛類屬環節動物門的一個綱，外部形態與貧毛綱的蚯蚓相似，但大多數的多毛類頭部有附肢，身體呈現漂亮的顏色，並且棲息於海洋。多毛類是相當古老的一羣生物，在地球上出現的年代可追溯至前寒武紀至寒武紀那段時間 (Fauchald, 1974)。在那時期，多毛類的演化進行快速，到了古生代的中期，大多數科 (Family) 的演化已經完備 (Fauchald, 1984)。也因此在今日多毛類的分類上，目 (Order) 的歸類並不具太多的種源意義 (Fauchald, 1977)。

根據 Fauchald (1977) 的報告，已描述過的多毛類約有 8,000 多種，分別屬於 81 個科。綜合而言，多毛類是多體節的環節動物；左右體側有成對的疣足 (parapodium)；剛毛結構特異；雖然剛毛並非多毛類所特有，但其形態、構造與其它無脊椎動物所具的剛毛差異甚大；多為雌雄異體，生殖腺分布在大部分的體節上；而在環節動物的另兩大類 (貧毛類及蛭類) 生殖腺只分布在極少數的體節上。

現在用傳統分類學上所使用的重要形質來進一步描述多毛類，這些形質包括下列形態學及解剖學

本文摘自生物科學第三十三卷第一期 19-33 頁 (1980)。

上的特徵（圖一），茲簡述如後。



圖一 多毛類沙蠶的形態特徵。A，身體前端及頭部；B，身體尾部；C，體節（第 13 節）橫切。此蟲採自淡水一養殖場。在國內釣魚店有售，做為釣餌用。

口前葉 (prostomium)：是身體最前端的構造，位於口的前方。此葉或具有附肢，依種類而定。附肢包括觸角 (antenna) 以及觸鬚 (palp) 等。腦神經可分布於此葉。

圍口葉 (peristomium)：位於口前葉後方，是一圍繞口的構造。此葉常與一或數個體節癒合，而與口前葉共同形成頭部。圍口葉亦有附肢，包括圍口鬚 (peristomial cirrus) 或觸手鬚 (tentacular cirrus) 等。

咽喉 (pharynx)：多數多毛類的咽喉可翻出於口外。咽喉可分為兩大類，一為盤狀肌質咽喉，另一為軸狀肌質咽喉。咽喉上的顎 (jaw)、齒 (tooth) 及其它幾丁質的構造是分類上屬及種的判斷依據。

疣足 (parapodium)：疣足位於體節兩側，為足狀的突起、具有剛毛。疣足可分為雙葉形 (biramous) 及單葉形 (uniramous)。雙葉形的疣足具有背腹兩葉 (notopodium 和 neuropodium)。單葉形的疣足只具有腹葉 (neuropodium)。疣足上面另有鰓和一些舌葉狀或鬚狀構造。疣足、鰓以及這些舌葉狀或鬚狀的形態和構造，都是屬別或種別的特徵。

剛毛 (seta)：剛毛為外胚層的衍生物，每一根剛毛由單一個剛毛細胞 (chaetoblast) 以及數個側細胞 (lateral cell) 分泌而形成。剛毛的化學成分為醣蛋白類，含有幾丁質與蛋白質。剛毛的形式非常多，其微細構造為種的鑑定依據。利用顯微鏡或掃描電子顯微鏡對剛毛做仔細的觀察，是多毛類種別判定不可缺少的步驟。

多毛類以海洋為棲息的大本營，上至水層，下至底土都有牠們的蹤跡。以成體棲所而言，絕大多數的多毛類營底棲生活，只有少數種類在水層中浮游而生。不論是硬質海底 (例如岩石、珊瑚礁等) 或軟質海底 (例如沙泥地)，多毛類都是很常見的動物。多毛類的棲息方式，概略有如下數種：(1) 浮游而生 (pelagic living)，(2) 表層而居 (surface dwelling)，(3) 築穴而居 (burrowing)，(4) 築管而居 (tube-dwelling)，(5) 鑽孔而居 (boring)，及(6) 共生或寄生 (commensal or parasitic living)。其中穴居及管棲的種類對沙泥性的海底環境有極重要的影響。

多毛類有肉食性、草食性、雜食性或碎屑食性。在碎屑食性中，有的多毛類取食懸浮在水層中的食物 (suspension feeder)，而有的則在底土表層或底土中取食 (deposit feeder)。有不少的多毛類是頭朝下而棲於穴內或管中，因此能在底土內取食。這些在底土表層或底土內取食的行為，對底質環境造成重大影響。

2.2 多毛類與底棲生態的關係

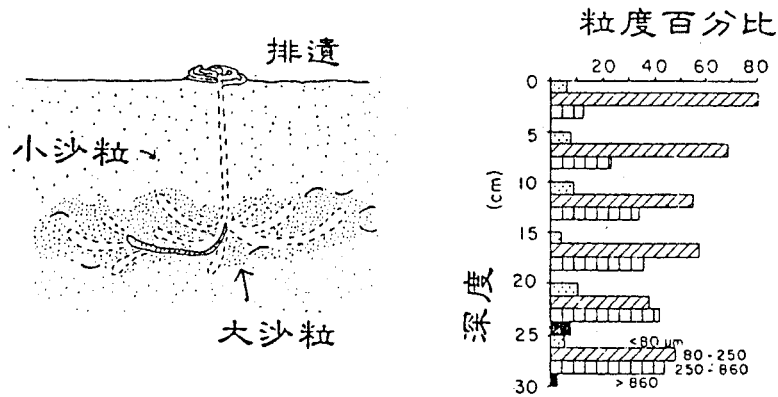
雖然多毛類廣泛地分布在硬質及軟質的海底，但多毛類與環境之間的關係，要以軟質的環境有最為詳盡與深入的研究。本文遂以軟質的底棲環境來簡要介紹多毛類在其中所扮演的角色。

多毛類在底土中的活動，包括移動 (moving)、造管 (tube-building)、築穴 (burrowing)、攝食 (feeding)、排遺 (defecation)、呼吸 (respiration)、及澆灌居所 (irrigation) 等。這些生物性的活動 (biotic activity) 會改變底土的物理及化學性狀，而物理化學性狀的變化又會影響到底棲羣聚的結構，而羣聚結構又可反過來影響底棲環境的物化狀況。三者之間呈密切的循環關係。

多毛類的活動對底土物理性狀的影響，包括(1)砂粒的分布、(2)底土的穩定性及(3)底土的地形學等 (Rhoads and Young, 1970; Rhoads, 1974; Gray, 1974; Jumars and Nowell, 1984; Luckenbach, 1986)。有些多毛類 (例如 maldanids) 頭朝下生活，取食細小砂粒，選用中等砂粒築管，摒棄大砂粒，而無法消化的砂粒則糾結成串，排放至底土最表層。因此由底土垂直剖面來看，底土深層的砂粒較大 (圖二)。經由多毛類的作用，底土的顆粒不再呈均質分布，而是異質 (heterogeneity) 與塊狀 (patchiness) 分布。不單是多毛類本身，其它底棲生物的空間分布與底質的顆粒組成都有密切的關係 (Bloom *et al.*, 1972)。

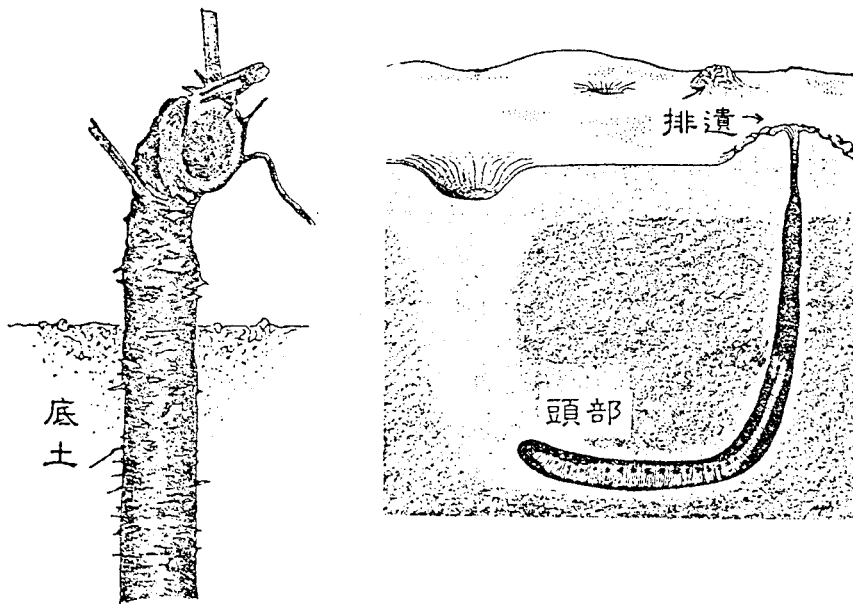
有很多多毛類是在底土表層取食，更多的多毛類在表層堆積糞便。取食時會翻動泥土，而排出的廢物含有多量液體，因此底土表層的含水量和有機質較多，結果表層的底土更易受水及波浪的衝擊而揚升起來。換句話說，底土的穩定性可能因而降低。不穩定的底土表層，對底棲生物有負面影響 (Rhoads and Young, 1970; Rhoads, 1974)。

多毛類的棲管常突出於底土表層，並常黏附藻類或貝殼、珊瑚等碎片；穴居的開口亦常呈漏斗形



圖二 左圖為多毛類棲息在 15 公分以下的底土中。右圖顯示該底土的垂直粒度組成；深度 20~30 公分處有大於 861 μm 的砂粒出現 (參考 Aller, 1982)。

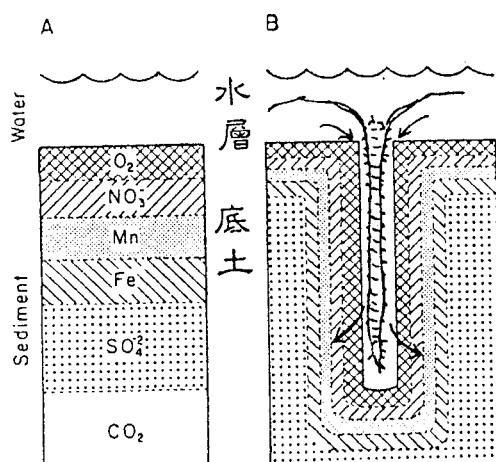
；而排出的糞便、砂石堆積成小丘 (圖三)。若由水中鳥瞰海底地形，有多毛類棲息的地方，它不再是單調、統一、無變化，而是高低起伏，複雜多樣。棲所的異質化與複雜化將導致羣聚的豐度 (richness) 升高與數量 (abundance) 增加 (Heck and Wetstone, 1977; Woodin, 1978)。多毛類的棲管有大有小；突出於表層，有高、有低；棲管的數量有密、有疏；這樣的物理結構對底流動力學、進而對底土穩定性的影響，在近十年裏，已有廣泛且深入的探討 (Eckman *et al.*, 1981; Jumars and Nowell, 1984; Luckenbach, 1986)。密集的管棲羣聚可以減緩底流，穩定底土。另外在多毛類的築管、攝食等活動中，常伴有黏液產生，再加上微細藻類及細菌等微生物的附著及分泌，底土表面形成具黏性的薄膜，而使得底土不易受底流侵蝕。



圖三 左圖，多毛類的棲管開口，形似煙囪。右圖，多毛類的 J 形洞穴。排遺物 (箭頭所指) 堆成小丘；攝食區在頭部附近，而在底土表層形成漏斗狀 (參考 Barnes, 1987)。

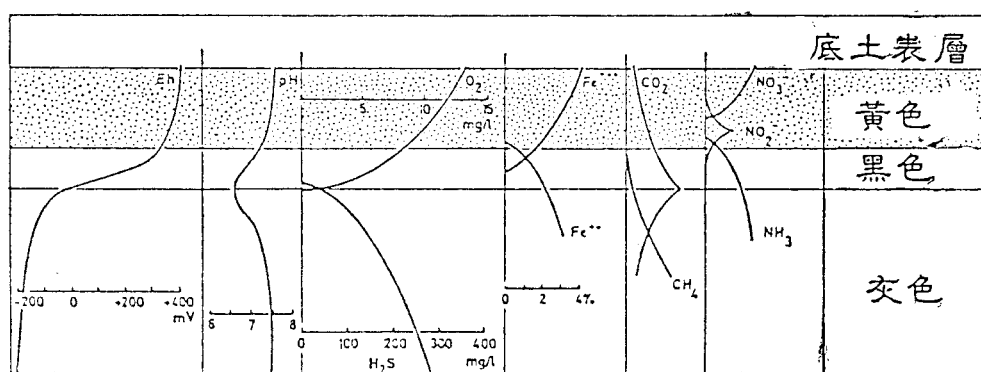
多毛類的活動，對底土化學性狀的影響包括：(1)化學物質在底土的分布型式、(2)底土含氧量、(3)營養鹽再循環速率 (Fenchel and Riedl, 1970; Rhoads, 1974; Aller, 1982)。一般而言，化學物質在底土內的分布是依氧化還原電位的差別呈層狀分布，然而，當有管棲或穴居的多毛類存在時，

化學物質的分布呈鑲嵌狀（圖四）。這是因為多毛類呼吸、攝食、排遺等活動，導引水流動，而使棲管或洞穴周圍的底土含較多的氧，而打破層狀分布的型式。化學物質的水平及垂直分布對底棲生物的影響。



圖四 A，底土中化學物質的垂直分布型式；B，多毛類洞穴周圍的化學物質的分布型式。當多毛類擺動身體，引進水流進入洞穴（箭頭所示），化學物質的分布成爲鑲嵌狀（參考 Aller, 1982）。

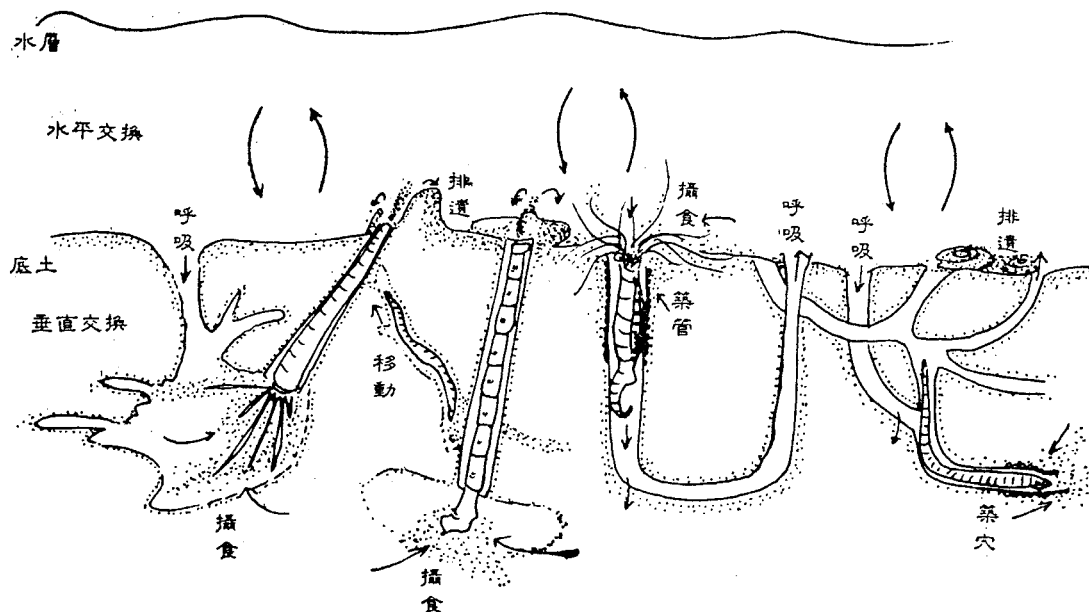
底土深層常因通透性差而呈缺氧狀態。若將底土垂直剖開，底土的顏色由黃色、黑色、到灰色，黃色是氧化層、灰色是還原層。在黑色這層的氧化—還原電位變化最大（圖五）。黑色這層簡稱爲 RPD (redox potential discontinuity)。多毛類的活動（例如呼吸）會擺動身體，造成水流，水層中含有氧的水便進入牠們的管子或穴道，因而使得底土深層含氧。由 RPD 在底土裏的上下移動，我們可以了解底土的氧化、還原狀態，從而判定底土是否適宜底棲生物生存。



圖五 氧化還原電位 (Eh)、酸鹼度 (pH)、含氧量 (O_2)；硫化氫 (H_2S)、鐵離子 (Fe^{++} , Fe^{+++})、二氧化碳 (CO_2)、甲烷 (CH_4)、硝酸根 (NO_3^-)、亞硝酸根 (NO_2^-) 以及氨 (NH_3) 的濃度在底土中的垂直分布圖。橫軸刻度表示測量值，由左向右漸增（參考 Fenchel and Riedl, 1970）。

很多有機物在深層無氧狀態下分解成還原劑，例如 H_2S , CH_4 , NH_4^+ , Fe^{++} ，等。這些物質要氧化成 SO_4^{2-} , CO_2 , NO_2^- , NO_3^- 或 Fe^{+++} 等營養鹽類，才能被植物利用。底土內物質與水層中物質的交流若僅靠分子的擴散 (diffusion) 是非常緩慢的，但經由多毛類的呼吸、攝食等活動所形成的生物對流 (biogenic advection) 來交換，則物質在底土與水層之間的循環就會快得多，廣得多。物質不僅在水層做二度空間的循環，還能在水層與底土間做三度空間的循環（圖六）。另外，多

毛類從砂粒上刮取食物，或在底土中移動而攪拌砂粒，這些活動都會加速化學反應速率，有利於營養鹽類的再循環。



圖六 物質在水層與底土的交換、循環示意圖。在水層中，物質主要呈水平交換。在底土中，多毛類的活動，促進物質的垂直交換，而達三度空間的循環效果（參考 Aller, 1982）。

2.3 多毛類之標本採集與處理

採集多毛類所使用的工具，依研究目的及棲所類型而有不同。做生態研究時，一般皆需要定量的樣品。定量採集注意事項請參考陳（1988）。潮間帶沙泥地的定量採集器可用平日常見的 PVC 管；亞潮帶則需選用適合潛水人員或船隻操作的採泥器，包括上述的 PVC 管或特製的圓柱狀或方形採泥器（參見 Holme, 1971）。岩石或珊瑚礁等硬底質的定量採集比較困難，需使用鑿子、鐵鎚或壓力鑽等。其它的採集工具尚包括篩網、洗瓶、軟鋼製鑷子、標本瓶、麻醉液、固定液、不透水紙、鉛筆等。

如果需活的標本，採集到的多毛類可放入裝有採集地的海水的桶中，帶回實驗室。如果標本需固定，則先用淡水配製成的 7% $MgCl_2$ 或 0.2% 2-Phenoxyethanol 麻醉。前者需半小時以上；後者只需幾分鐘。麻醉後，再使用 5~10% 福馬林固定、保存。也可用 50~70% 的酒精保存，但標本必需先經過福馬林固定一、兩個禮拜之後，再換成酒精保存。

3. 臺灣多毛類的研究現況

長久以來臺灣海域多毛類的研究相當貧乏。早期（日據時代）的研究為動物相的調查，種類的描述散見在一些日本的動物圖鑑中。在 1960~70 年間，始有兩篇較詳細的分類研究報告（Wu, 1967, 1968）。而自 1980 年迄今，隨著大型底棲無脊椎動物羣聚的研究之增加，臺灣的多毛類動物相才漸漸呈現混沌初開的局面。

表一是例舉近十年來，國內外學者研究臺灣海域大型底棲無脊椎動物羣聚的報告。本文藉著這些結果，來探討在研究多毛類以及底棲生態時，應注意的事項。

由表一所知，調查地區包括臺灣的南北兩端及西部沿岸；底質有沙泥地、岩岸及珊瑚礁。研究的目的大多著重在底棲動物羣聚的組成、季節變化、羣聚與環境因子之關係。表中所列舉的論文雖然並

非針對多毛類而取樣，但是既以「大型底棲動物羣聚的結構」為研究重點，便需考慮樣品的代表性。換言之，所得到的樣品必需能充分反應出研究地區的羣聚結構。這牽涉到採樣面積的選定、篩網網孔的選定、樣品數的決定及物種的鑑定。取樣方法的擇定（包括前述三項）及物種鑑定的重要性已有陳(1988) 撰文詳加論述。本文再討論篩網網孔大小、物種鑑定及標本處理等要項，以供國內底棲生態學家參考。

表一顯示，在 10 個研究沙地的大型無脊椎動物羣聚的報告裡，有 8 個調查是選用 0.63~4.5 mm 的網孔，而只有 2 個調查是用 0.5 mm 的篩網。網孔越大，所採得的動物當然就越少，代表性也越低。葉(1987) 調查高雄港的底棲動物相，多毛類是最優勢的羣。該研究曾採用 0.5 mm 及 1.0 mm 的網孔來篩取由同一測站所採得的樣品。筆者比較了用這兩個網孔，在每 1 m² 裡所採得的種類數 (number of species) 和總個體數 (total number of individuals) 的差別，發現用 1.0 mm 的網孔來篩取，有 30% 的種類以及高達 76% 左右的個體無法採到。而常常用來做為指標種的海稚蟲多毛類 (spionids)，很多種類體型都很小，蟲體寬度不超過 1 mm (Imajima and Hartman, 1964; Uebelacker and Johnson (editors), 1984; Macioleck, 1985)。

表一 最近十年內，臺灣海域大型底棲無脊椎動物相之研究概況

研究地區	水深	底質	研究期間	研究地區 工業或 經濟活動	動物標本 篩選網目 (mm)	多毛類 種數	鑑定 種數	鑑定依據	文獻
鼻頭角 至 三貂角	潮間帶	岩岸	1978, 4月 1979, 3月	—	肉眼揀出 ?	33	31	日本動物圖鑑 Wu, Fauchald	王 1979
新竹山	潮間帶	沙、泥	1980, 7月 1981, 4月	文蛤養殖	0.94	30	總表未 列出	同上	龐 1981
北部核 能電廠	潮間帶 及 亞潮帶	礁石	1974, 7月 1984, 6月	核能發電	—	6	3	無記載	蘇等 1984
高雄興 達港	潮間帶	沙	1982, 5月 1983, 6月	火力發電	1.0	5	總表未 列出	日本動物圖鑑	郭 1984
崎頂 後西 安	潮間帶 及 亞潮帶	礫石、 沙、泥	1983, 11月 1984, 10月	—	1.0	24	17	日本動物圖鑑	李 1985
外傘頂 洲內、 外	0.5-9m	沙、泥	1984, 6月 及 1984(?)11月	貝類養殖區	0.5	43	14	無記載	徐及 吳 1985
永安沿 海	0-5m 5-11m	沙 沙、泥	1984, 8月 1985, 7月	液化天然氣 氣化槽及冷 海水排出	1.0 4.5	3 8	3 4	日本動物圖鑑 Wu	江 1986
通霄 西	3-50m	沙	1981	—	0.63	49	26	Imajima & Hartman	Dorjes & Cheng 1986
高雄港	7-18m	沙、泥	1986	港埠活動	0.5 1.0	34 26	32 25	日本動物圖鑑 Day, Fauchald, Imajima & Hartman	葉 1987
臺西	—	沙、泥	1987, 3月 1988, 2月	草蝦、虱目 魚、文蛤養 殖池	1.0	9	6	日本動物圖鑑 Day, Fauchald, Imajima & Hartman, Wu	蘇 1988
墾丁國 家公園 小灣地 區	1-14m	沙及礁 石	1985, 7月 1986, 3月	特殊自然景 觀	—	—	2	無記載	張等 1989

表一所列，除了蘇等 (1984)，徐及吳 (1985)，Dorjes and Cheng (1986) 以及張等 (1989) 四個研究之外，餘為國內大學的碩士論文。在這些碩士論文中，只有葉 (1987) 及蘇 (1988) 兩文對多毛類的優勢種有分類特徵的描繪；另外各報告的鑑定率也都在 30% 以上，有的則高達 96%。鑑定率雖然不低，但種別鑑定的正確性，令人存疑。因為臺灣多毛類的分類報告，至今只有兩篇 (Wu, 1967; 1968)，參考文獻極為貧乏。以致在臺灣多毛類的鑑定上，大家都依據日本動物圖鑑、日本或南非洲的多毛類報告。圖鑑中，種類的描述大多僅以概略的圖示說明，初學者缺乏檢索表，恐難以「按圖認種」。又因為多毛類的一些分類特徵，例如觸鬚 (palps)、觸手鬚 (tentacular cirri) 或鰓 (branchiae) 常在標本採集及固定過程中脫落，依據圖鑑來鑑定種，是非常危險的。而一般區域性生物相檢索表都是用二分法 (dichotomous)；如果某一分類型質並未在那些檢索表中指明，初學者想「按表認種」恐怕是很容易失誤的。

表一所列的研究論文中，對多毛類標本的固定，都未提及使用麻醉液。多毛類身體柔軟，若突然傾入福馬林或其它固定液，身體常捲縮起來。而許多分類特徵如圍口葉 (peristomium)，咽喉 (pharynx) 等便無法平展開來。這些處理不當的標本，增加了分類上操作的困難，也可能誤導分類上的判斷。

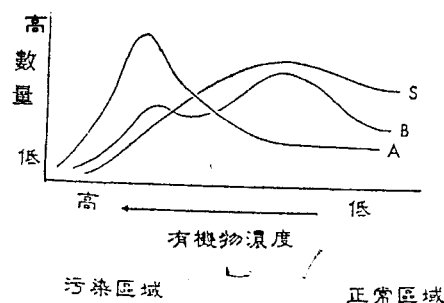
4. 多毛類在環保之應用與展望

海洋底棲環境的污染來源很多，包括：(1)有機物含量升高，例如來自下水道污物或紙漿廠廢水；(2)缺氧，因為大量有機物分解，或港灣疏濬工程傾覆泥沙等；(3)水溫升高，例如電廠冷卻用水的排放；(4)有毒物質的堆積，來自重金屬排放，原油洩漏等；(5)懸浮顆粒增加，來自廢物拋海，或港灣疏濬工程等。這些污染對多毛類的生長、生殖、生存等有不同程度的影響。

多毛類在環境污染指標上的應用可分為兩方面來探討，一為在實驗室內，進行短期的生物檢定 (bioassay)，探討個體對污染源濃度的忍耐力 (Reish, 1980, 1984, 1986) 或生活史中生長、生殖、生存等介量 (parameter) 受到什麼樣的影響 (Akesson, 1982; Levin, 1986)。最近也有學者研究姐妹染色分體互換的頻率，來偵測遺傳毒性 (Pesch *et al.*, 1981; Pesch *et al.*, 1987)。另一為在野外污染現場調整個多毛類羣聚的結構變化。通常後者所需研究期間較長，人力、物力的投入也大。因為污染源對生物的影響有大、有小；有急性、有慢性；有廣面、也有局部，因此這兩方面的探討都是必需的。研究污染源對整個羣聚所造成的衝擊和改變是近年來的趨勢 (Pearson and Rosenberg, 1978; Rhoads and Germano, 1986)。

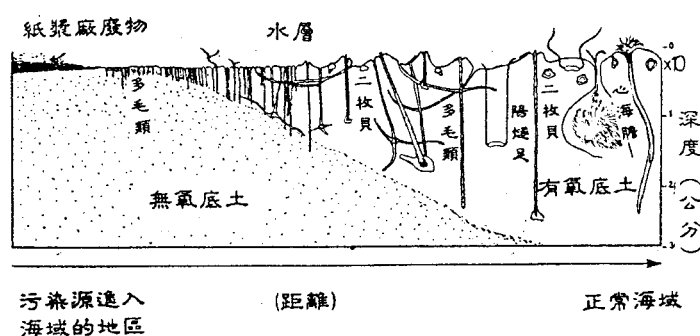
4.1 污染對羣聚結構的影響

底棲環境受到有機物污染，優養化 (eutrophication) 後，羣聚的改變為例，說明種數 (species number)，總個體數 (total abundance)，總生物量 (total biomass) 的變化 (圖七)



圖七 底土優養化的程度與種類數(S)，總個體數(A)以及生物量(B)的關係。X-軸表示污染程度；Y-軸表示種數、總個體數及生物量 (參考 Pearson and Rosenberg, 1978)。

。有機物排放入海後，在濃度最高，污染最嚴重的地點，種數最少，只有少數幾種稱之為投機分子 (opportunistic species) 的多毛類可以生存，這些多毛類 (例如 spionids, capitellids) 個體小，以碎屑為食 (deposit feeders)，生殖能力強，壽命短 (Grassle and Grassle, 1974; Levin, 1986)，因之族羣能在短時間之內快速增加，總個體數達高峯。就總生物量而言，因個體小，體重輕，在污染點上，並不是最重。離污染點漸遠的地區，種數漸漸增多；這些種類，個體較大，生殖能力較弱，壽命較長，族羣小，總個體數不多；但是因個體大，體重重，所以總生物量漸漸升高峯 (Pearson and Rosenberg, 1978)。投機分子型的種類，大多個體小，生活在底土表層，牠們的活動只能導引水流及氧氣到達淺層的表土，因此有氧層很淺；但是生活在不受污染地區的種類，個體大，活動時所引導的水流和氧氣能到達底土深層，因此有氧層可深達 20 公分以上 (圖八)。



圖八 以紙漿廢水污染海域為例，說明沿著污染的空間梯度，大型底棲無脊椎動物的個體大小、在底土中的分佈深度以及底土的含氧狀況。這些動物包括多毛類、二枚貝、腸燧足及心海膽等。有的管棲，有的穴棲 (參考 Rhoads and Germano, 1986)。

在時間軸上，若污染終止，環境漸漸復原，羣聚的消長又是如何呢？在每一消長時期，羣聚的結構以及多毛類與底土的空間關係可用來推測底棲環境的次級生產量的多寡、食物網受污染的可能性、營養鹽再循環的快慢、以及海底缺氧的可能性 (Rhoads and Germano, 1986)。表二是以消長早期的羣聚與消長晚期的羣聚做比較。早期的羣聚，族羣成長快，個體小，棲息於底土淺層，易被底棲魚類所捕食，次級生產量可能較高。這些種類大多在淺層取食，易受新近沉積在表土或懸浮性的污染物質所污染；又因生活史短，毒物生物累積 (toxicant bioaccumulation) 的問題可能比較不嚴重。另一方面，牠們的活動限於淺層，對於底土與水層間氧氣與營養鹽類的循環交換，助益不大。因為循環交換不佳，有機物容易堆積，海底缺氧的情形因而比較容易發生。相對的，消長晚期的羣聚的特徵就與早期羣聚的特徵相反。在一個地點，當我們發現晚期的羣聚逐漸瓦解消失，而早期的羣聚逐

表二 消長早期與晚期底棲生態系屬性的比較 (參考 Rhoads and Germano, 1986)

屬性	消長時期特徵	
	早期	晚期
生產量	高。羣聚多由個體小的種類組成，因而族羣成長快；又棲息於淺層，能够被較高層次的消費者所利用。	低。羣聚多由個體大的種類組成，族羣成長慢；又棲息於較深層，比較不容易被更高層次的消費者所利用。
食物網的污染	受懸浮性污染物質或剛沉積下來的污染物質污染的可能性高；個體毒物負載量可能較低。	受埋在深層的污染物質污染的可能性高；個體毒物負載量可能較高 (因生活史較長)。
營養鹽的再循環	溶質交換的深度大約為 3 公分。營養鹽的再循環速率慢。	溶質交換的深度可達 20 公分以上。營養鹽的再循環速率快。
缺氧可能性	高。碎屑、有機物易於沉積。	低。碎屑、有機物容易再循環。

漸形成，這個時候，環境惡化的警號已經亮了，海底缺氧以至無氧的狀況即將發生。

4.2 多毛類在生物檢定上的應用

在過去十年裏，已有 22 多種毛類（分屬 12 科）曾被用來做為生物檢定的材料 (Pesch *et al.*, 1981; Reish 1984; Reish, 1986)。測試的污染物質包括突變劑 (mutagens)、致癌物 (carcinogens)、重金屬 (Ag, Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb 及 Zn)、石化原料、多氯聯苯 (PCBs)、清潔劑、營養鹽類、疏濬廢土等。測試的方法通常是將多毛類經由不同濃度的污染源處理 96 小時，求出造成半數測試個體死亡的濃度 (LC50)。另外，遺傳毒性的檢定則是將多毛類經突變劑或致癌劑處理 48 小時後，觀察姊妹染色分體互換頻率的變化。

選用 96 h LC 50 的試驗方法的好處是執行方便。短期內即知結果，所得資料能與其它的研究相互比較，因為大多數的生物檢定法也是選用 96 小時的測試時間。其它常用的底棲無脊椎動物是甲殼類和軟體動物。在這三類海洋無脊椎動物中，選那一類來做為生物檢定的材料最適當呢？這當然要依測試的目的、污染物質、試驗的經費、人力等而定。例如甲殼類的蝦、蟹，軟體動物的二枚貝等，很多種類為人類所食用。它們的衛生、安全與否，攸關人類的性命，因此食品的衛生程度、毒性物質的含量等的測定，相當重要。多毛類雖不具經濟價值，但牠們在底棲環境的重要性，使得牠們成為海洋污染研究的新對象，與生態毒物學的新測試生物 (Reish, 1984; Pesch *et al.*, 1987)。表三、表四

表三 重金屬對大型底棲無脊椎動物的毒性之比較。毒性由大而小依序排列 (參考 Reish, 1984)

多毛類	(Polychaetes): Hg, Cu, Cr, Cd, Pb, Zn, Ni
甲殼動物	(Crustaceans): Hg, Cd, Zn, Cu, Ni
軟體動物	(Mollusks): Cu, Hg, Cd, Zn, Cr, Ni

表四 多毛類、甲殼動物及軟體動物對金屬忍耐性之比較。忍耐性以試驗96小時，半數個體致死的濃度 (LC 50, mg/l) 表示 (參考 Reish, 1984)

測試金屬	測試動物	96 h LC 50 (mg, l ⁻¹)		樣品數
		範圍	平均值	
Cadmium	Polychaetes 多毛類	0.2 — 12	6.5	11
	Crustaceans 甲殼動物	0.01— 47	3.7	15
	Mollusks 軟體動物	2.2 — 35	13.6	5
Chromium	Polychaetes 多毛類	2 — 5	3.7	7
	Crustaceans 甲殼動物	3.4 — 10	6.7	2
	Mollusks 軟體動物	14 — 105	58.6	3
Copper	Polychaetes 多毛類	0.16— 0.3	0.24	7
	Crustaceans 甲殼動物	0.03—100	19.6	11
	Mollusks 軟體動物	0.05— 0.14	0.086	4
Lead	Polychaetes 多毛類	1.2 — 20	10	8
	Mollusks 軟體動物	0.58	—	1
Mercury	Polychaetes 多毛類	0.01— 0.2	0.07	9
	Crustaceans 甲殼動物	0.01— 0.3	0.14	8
	Mollusks 軟體動物	0.06— 32	8.1	4
Nickel	Polychaetes 多毛類	17 — 50	35.3	4
	Crustaceans 甲殼動物	4.4 — 47	22.6	5
	Mollusks 軟體動物	72 — 320	196	2
Zinc	Polychaetes 多毛類	1.7 — 55	10.3	9
	Crustaceans 甲殼動物	0.4 — 50	10.6	7
	Mollusks 軟體動物	7.7 — 50	22.6	3

是比較多毛類、甲殼動物、軟體動物對多種金屬半數致死濃度的反應。三類動物的反應有相似性也有相異性。這三類動物多反應出汞 (Hg) 及銅 (Cu) 的毒性最強，而鎳 (Ni) 的毒性最弱。多毛類對 Hg, Cr, Zn 的反應較甲殼類或軟體動物來得敏感，而甲殼類對 Cd, Ni 的反應較多毛類或軟體動物敏感，軟體動物對 Cu 最敏感。就表四而言，在這些重金屬中多毛類是三類動物裏最敏感的，而軟體動物則最具忍耐力。

多毛類在環保上應用的利、弊綜述如下：(1)多毛類在海洋環境中，為數甚多，容易採得大量樣品，(2)很多種類生活史短，污染源對牠們生長、生殖、生存及遺傳結構等的影響，能在一年半載之內瞭解梗概，(3)不少種類已能在實驗室裏建立起可觀的聚落 (colony)，而使測試物種的遺傳性狀維持純淨，(4)個體多屬小型，減少試驗空間及物力的需求，(5)身體外無保護硬殼，身體組織與測試的物質直接接觸，最能有效反應污染物質對活體的衝擊，(6)很多種類具有足夠的生物量 (biomass)，因此能夠做身體負載量分析 (body burden analysis)。但是多毛類採集時，蟲體容易斷裂，不易採得完整個體，又有些常用的污染指標種 (例如 *Capitella capitata*)，實際上是形態上難以區分的數個姊妹種 (sibling species)。這些可說是利用多毛類來當測試生物的幾個缺點。

4.3 展 望

國內海域水質標準的檢定已有法令規章的訂定，唯過去的標準過於浮鬆，有重新檢討制定的必要。對多毛類而言，在實驗室內生物檢定的應用上，亟需選定適宜的測試種，並對各類污染物質的測試方法訂定合理的標準。標準的建立應考量受試種的幾個重要介量，包括個體成長率、族羣成熟率 (sexual maturity)、死亡率 (mortality)、生殖率 (reproductive rate) 以及族羣成長率 (population growth rate)。污染源的最高濃度的訂定應以不減緩個體成長率、不延長個體成熟期、不增加族羣死亡率以及不降低族羣生殖力為標的。

在野外實地的監測應用上，應取得底棲環境的物理、化學因子、族羣動力學或羣聚結構的完整資料，以便據以評估底棲環境的品質。物化因子包括粒度組成、氧化還原電位的分布、酸鹼度的分布、底土含氧量等；族羣動力學的介量包括成熟率、死亡率、生殖率等資料；羣聚結構的介量有種類組成、個體數、生物量、種分歧度、豐富度、均勻度、生產力、食物網結構、營養鹽的循環等。

5. 結 論

多毛類是海域中常見的無脊椎動物，雖不具食用價值，但却是海洋生態系中重要的一環；尤其對底棲的生態環境，具有決定性的影響力。多毛類的存在與否、種類的差異、數量的多寡及個體的大小等，在在影響底棲環境的品質、生產力的多寡及羣聚的興衰。臺灣四面環海，隨著經濟的發展，海域受污染的程度也越趨嚴重。底棲生態的研究不僅亟需推展，更需力求水準的提升。水準的提升首重種別鑑定的正確性，以建立可靠的臺灣多毛類動物相資料以及採獲具有高代表性的底棲羣聚的樣品，並訂定合理的生物檢定標準。

謝 辭

作者感謝行政院青輔會所提供的博士後研究工作，中央研究院動物研究所周所長的支持與同所陳章波博士的鼓勵，得以完成本文，謹誌最誠敬謝意。

參 考 文 獻

- 王繼忠，(1979)。臺灣東北角岩岸潮間帶底棲無脊椎動物及藻類相羣聚結構之研究。國立臺灣大學海洋研究所碩士論文。
- 江建嵩，(1986)。臺灣西南部永安海域大型底棲動物相之研究。私立中國文化大學海洋研究所資源組碩士論文。

- 李展榮, (1985)。崎頂、後安臺西潮間帶與亞潮帶底棲動物之生態與分布。私立中國文化大學海洋研究所資源組碩士論文。
- 徐崇仁、吳全橙, (1985)。臺灣西南部河口域大型底棲生物相的研究 *J. Fish. Soc. Taiwan*, 12(1): 21-35。
- 陳章波, (1988)。潮間帶無脊椎動物在環境評估上的應用——以沙岸底棲動物羣聚為例。環境保護與生態保育研討會, 論文專集。539-550 頁。
- 郭立信, (1984)。興達潮間帶底棲動物與環境之關係。國立臺灣大學海洋研究所碩士論文。
- 張崑雄、鄭明修、蘇焉、邵廣昭、方力行, (1989)。墾丁國家公園小灣海域潛水育樂之規劃。國家公園學報, 1(1): 33-49。
- 葉永誠, (1987)。高雄港水域底棲動物相及其分布。國立臺灣大學海洋研究所碩士論文。
- 龐元勳, (1981)。香山潮間帶底棲生物與環境之關係。國立臺灣大學海洋研究所碩士論文。
- 蘇永銘, (1988)。臺西地區文蛤 (*Meretrix lusoria*) 養殖池底棲動物相之研究。國立臺灣大學海洋研究所碩士論文。
- 蘇仲卿、洪楚璋、江永棉、譚天錫、張崑雄、李信徹、張湘電, (1984)。臺灣北部核能發電廠運轉對附近海域之生態環境影響評估報告。中央研究院國際環境科學委員會中國委員會, 專刊第 29 號。
- Akesson, B. (1982). A life table study on three genetic strains of *Ophryotrocha diadema* (Polychaeta, Dorvilleidae). *Int. J. Invertebr. Reprod.* 5: 59-69.
- Aller, R. C. (1982). The effects of macrobenthos on chemical properties of marine sediment and overlying water. In: *Animal Sediment Relations* (Eds. P. C. McCall and M. J. S. Tevesz). Plenum Publishing Corporation 53-102 pp.
- Barnes, R. D. (1987). *Invertebrate Zoology*, 5th edition. Saunders College Publishing, Philadelphia 893 pp.
- Bloom, S. A., J. L. Simon and V. D. Hunter (1972). Animal-sediment relations and community analysis of a Florida estuary. *Mar. Biol.* 13: 43-56.
- Dorjes, J. and Y. M. Cheng (1986). Sedimentological and biological investigations in foreshore and shelf deposits off the west coast of Taiwan II. Macrobenthos *Senckenb. Marit.* 17(4-6): 221-240.
- Eckman, J. E., A. R. M. Nowell and P. A. Jumars (1981). Sediment destabilization by animal tubes. *J. Mar. Res.* 39(2): 361-374.
- Fauchald, K. (1974). Polychaete phylogeny: a problem in prostome evolution. *Syst. Zool.*, 23: 493-506.
- Fauchald, K. (1977). The Polychaete Worms: Definitions and Keys to the Orders, Families and Genera. Natural History Museum of Los Angeles County 188 pp.
- Fauchald, K. (1984). Polychaete distribution patterns, or: can animals with palaeozoic cousins show large-scale geographic patterns? Proceedings of the First International Polychaete Conference, Sydney (Ed. P. A. Hutchings). Published by The Linnean Society of New South Wales, 1984. 1-6 pp.
- Fenchel, T. M. and R. J. Riedl (1970). The sulfide system: a new biotic community underneath the oxidized layer of marine sand bottoms. *Mar. Biol.* 7: 255-268.
- Grassle, J. F. and J. P. Grassle (1974). Opportunistic life histories and genetic systems in marine benthic polychaetes. *J. Mar. Res.* 32(2): 253-284.
- Gray, J. (1974). Animal-sediment relationships. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 12: 223-261.
- Heck, K. L. Jr and G. S. Wetstone (1977). Habitat complexity and invertebrate species richness and abundance in tropical seagrass meadows. *Biogeogr.* 4: 135-142.
- Holme, N. A. (1971). Macrofauna sampling. In: *Methods for the Study of Marine Benthos*. (Eds. N. A. Holme and A. D. McIntyre). Blackwell Scientific Publications, Oxford and Edinburgh 80-130 pp.
- Imajima, M. and O. Hartman (1964). The polychaetous annelids of Japan. Allan Hancock Foundation Publications, Occasional Paper Number 26. The University of Southern California Press, Los Angeles California 452 pp.
- Jumars, P. A. and A. R. M. Nowell (1984). Effects of benthos on sediment transport: difficulties with functional grouping. *Continental Shelf Res.* 3(2): 115-130.
- Levin, L. A. (1984). Life history and dispersal patterns in a dense infaunal polychaete assemblage: community structure and response to disturbance. *Ecology* 65(4): 1185-1200.
- Levin, L. A. (1986). Effects of enrichment on reproduction in the opportunistic polychaete *Streblospio benedicti* (Webster): a mesocosm study. *Biol. Bull.* 171: 143-160.
- Luckenbach, M. W. (1986). Sediment stability around animal tubes: the roles of hydrodynamic processes and biotic activity. *Limnol. Oceanogr.* 31(4): 779-787.

- Maciolek, N.J. (1985). A revision of the genus *Prionospio* Malmgren, with special emphasis on species from the Atlantic Ocean, and new records of species belonging to the genera *Apoprionospio* Foster and *Paraprionospio* Caullery (Polychaeta, Annelida, Spionidae). *Zoological J. Linnean Soc.* **84**: 325-383.
- Pearson, T.H. and R. Rosenberg (1978). Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* **16**: 229-311.
- Pesch, G.G., C.E. Pesch and A.R. Malcolm (1981). *Neanthes arenaceodentata*, a cytogenetic model for marine genetic toxicology. *Aquat. Toxicol.* **1**: 301-311.
- Pesch, G.G., C. Mueller, C.E. Pesch, A.R. Malcolm, P.F. Rogerson, W.R. Hunns, Jr., G.R. Gardner, J. Heltshe, T.C. Lee and A. Senecal (1987). Sister chromatid exchange in a marine polychaete exposed to a contaminated harbor sediment. In: Short-term Bioassays in the Analysis of Complex Environmental Mixtures V. (Eds. S.S. Sanhu, D.M. DeMarini, M.J. Mass, M.M. Moore and J.L. Mumford). Plenum Publishing Corporation 237-253 pp.
- Reish, D.J. (1980). Use of polychaetous annelids as test organisms for marine bioassay experiments. In: Aquatic Invertebrate Bioassay, ASTM STP 715 (Eds. A.L. Buikema, Jr. and J. Cairns, Jr.). American Society for Testing and Materials 140-154 pp.
- Reish, D.J. (1984). Marine ecotoxicological tests with polychaetous annelids. In: Ecotoxicological Testing for the Marine Environment (Eds. G. Persoone, E. Jaspers and C. Claus). State Univ. Ghent and Inst. Mar. Scient. Res., Bredne, Belgium, Vol. 1, 427-454 pp.
- Reish, D.J. (1986). Benthic invertebrates as indicators of marine pollution: 35 years of study. IEEE Oceans '86 Conference Proceedings, Washington, D.C., Sept. 23-25, 1986, 885-888 pp.
- Rhoads, D.C. (1974). Organism-sediment relations on the muddy sea floor. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* **12**: 263-300.
- Rhoads, D.C. and D.K. Young (1970). The influence of deposit-feeding organisms on sediment stability and community trophic structure. *J. Mar. Res.* **28**(2): 150-178.
- Rhoads, D.C. and J.D. Germano (1986). Interpreting long-term changes in benthic community structure: a new protocol. *Hydrobiologia*, **142**: 291-308.
- Uebelacker, J.M. and P.G. Johnson (Eds.) (1984). Taxonomic guide to the polychaetes of the northern Gulf of Mexico. Vol. II Final Report to the Minerals Management Service, Contract 14-12-001-29091. Barry A. Vittor & Associates, Inc., Mobile, Alabama.
- Woodin, S.A. (1978). Refuges, disturbance and community structure: a marine soft-bottom example. *Ecology* **59**(2): 274-284.
- Wu, S.K. (1967). The nereid worms of Taiwan. *Bull. Inst. Zool. Academia Sinica* **6**: 47-76.
- Wu, S.K. (1968). On some polychaete worms from the northern coast of Taiwan. *Bull. Inst. Zool. Academia Sinica* **7**: 27-48.

The Studies and Applications of Polychaetes on the Environmental Monitoring of Taiwan

Hwey-Lian Hsieh

*Institute of Zoology, Academia Sinica, Nankang,
Taipei, Taiwan, Republic of China*

ABSTRACT

Polychaetes are the major components of many marine macroinfaunal communities. The importance of polychaetes in the benthic ecology has been well documented in and demonstrated by the interactions between organisms and sediment. The activities of polychaetes have great influences on the physical and chemical properties of sediment. Changes in the physical-chemical properties of sediment can lead to changes in the structures of benthic communities. Studies on marine pollution have shown that polychaete communities are sensitive to the changes of environments and are critical indicators in examining the impacts of man-made activities on marine benthic environments. In the present paper, the contents are arranged as follow: a general introduction to polychaete biology, relationships between polychaetes and benthic ecology, and the use of polychaetes and polychaete communities in environmental monitoring.