

# 十一、沿岸生態環境保護：棘皮動物之應用與展望

陳 章 波      陳 碧 玉

中央研究院動物研究所

## 摘 要

臺灣沿岸的棘皮動物或能做為生態環境之指標。本文綜合整理國外有關棘皮動物在生態環境保護之應用，並分析展望國內實際應用之可行性。

## 1. 前 言

臺灣四面環海，夙有寶島之美譽。但近年來，因為追求物質，經濟之成長等而忽略，甚而犧牲環境，以致水域污染日趨嚴重。河川、河口，到潮間帶早已受害（鄭，1984），而三海裡內的海域，最近也受到污染（廖，1989）。又國內廢物海拋或放流之要求日增（何等 1988，郭及陳 1988，顏等 1988），海域可能受到更嚴重的污染。有鑑於此，吾人應加強海域各方面的監視。

海域之監視，除物理／化學之監視外，尚應配合生物監視，其原因如下：

(1) 只有活的生物體才能實質上反應出受害的情形。水域毒性物質之表現為綜合體，毒物本身受環境品質及其他物質之左右，而生物本身也受到環境之影響，所以儀器之測量結果並不能表示其毒性大小。

(2) 由於各類生物有其種之特異性，對各類毒物之反應不一，某些生物反應敏銳，對低於現有儀器所能偵測濃度的毒物也有反應。因此，經詳細調查研究後，或可尋得最適宜的指標種。例如英國為了監視河口重金屬之污染，而調查河口生物 (Bryan *et al.*, 1985)，結果發現沒有一種生物是全能的指標種 (Universal indicator organism)，但有的生物例如海草 *Fucus vesiculosus*，貝 *Serobicularia plana* 及貽貝 *Mytilus edulis* 可以同時監視許多種重金屬，而某些種生物則只對某一種重金屬有效，例如玉黍螺 *Littorina littoralis* 對鎘有效，多毛類 *Neries diversicolor* 對銅，鰈魚 *Platicethys flesus* 對甲基汞有效。

(3) 生物監視的範疇可大可小，含蓋各生命層次 (life spectra)：從生態系、羣聚、族羣、個體、器官、組織、細胞、大分子到基因；從行為、生理、生化到基因表現；從臨死到非致死；從急性到慢性；從短期到長期；從一代到數代。可依實際需要選定不同的生命層次來監視海域，例如水域生態監視系統應包括各類生態角色的生物，如初級生產者、懸浮物攝食者 (suspension feeder)、沉澱物攝食者 (deposit feeder) 及肉食者，這樣或能充分反應出不同形式 (溶解或粒狀) 的污染源及經由食物鏈所造成的生物增大 (Biomagnification) (Bryan *et al.*, 1985)。

海洋生物中，棘皮動物在胚胎發生上與脊椎動物同屬於後口類 (deuterostoma)，而國外已經用來做為各類毒物及海域環境之監視 (Dinnel *et al.*, 1988; Pavillon, 1988)。臺灣海域有不少棘皮動物，目前也有一些基礎資料，或許值得嘗試應用於生物環境監視，因此，綜合整理國外棘皮動物在生物監視之應用情形以介紹之。

## 2. 國際間應用棘皮動物做監視生物情形

Dinnel 等在 1988 年，綜合整理介紹棘皮動物之海膽類在海洋環境監視之應用。現今摘要簡介

如下：

早在 18 世紀中期，人們就利用海膽之配子和胚胎研究細胞學和胚胎生物學。現今，這些材料仍然是研究很多基礎生物學（如生殖、成長和發生）不可或缺的工具。近二十年，由於環保意識的高漲，助長了環境研究的興趣及需求，因而應用海膽各層次的生命來研究生態毒性的基礎科學。

海膽各層次的生命（特別是配子和胚胎）之所以能用來測試生態毒性，是因為早在 20 年代和 30 年代，就已經有許多人研究過重金屬對海膽卵之受精和胚胎發生之影響。這類研究後來擴展到天然海域重金屬（或其他物質）對受精和胚胎的影響。再加上 50 年代和 60 年代重金屬效應機制的基礎工作因而得以利用海膽胚胎來評定海洋水質。在 1971 年，Kobayashi 在日本首創利用海膽胚胎的生物檢定來偵測水質。這一方法已執行超過十年，而且繼續發展到其他方面的應用 (Kobayashi 1974, 1977, 1980, 1981)。在最近十年，更發展出許多新的或改進的方法，各類方法介紹如下：

#### (一)以成體為測試材料的方法

大體上為使海膽成體長期暴露在評定水質中，而後評定各種反應，包括行為的變化、成長的損害、生物累積或對配子及胚胎發生的影響。

##### (1)行為檢定

行為的生物檢定，方法有①翻身行為，即將海膽翻轉，使口面朝上而後測其回復正常姿勢所需的時間 (Axiak and Saliba 1981)；②防禦行為，利用海星的分泌液刺激海膽 (*Strongylocentrotus droebachiensis*)，計量其叉棘的防禦能力 (Johnson 1979)，當水中含有毒物叉棘的活動會受到抑制；及③趨化性反應，最近，Hay *et al.* (1986) 發現海膽 *Arbacia punctulata* 有趨向比較喜歡的藻類食物來源的反應，這反應對未來行為檢定可能非常有用的。

##### (2)成長損害

當海錢 (*Dendraster excentricus*) 成體暴露在被污染過的底質，其幼體的成長，是很敏銳的污染指標 (Schiewe and Misitano 1986)。而當 *Diadema antillarum* 受到石油 (C. H 化合物) 污染，會影響到棘的再生 (Neff and Anderson 1981)。當海膽 *Strongylocentrotus intente-dius* 暴露在 0.5~1 mg/l 鎘下 1 個月，其卵細胞出現異常情形 (Khristofor *et al.*, 1984)。在受過污染的海域，在污染源附近的海膽成體有相當數量的畸型 (Allian 1978; Danfi 1980)。又在法國，靠近嚴重污水排放區域的海膽，其生殖腺沒有發育 (Delmas and Regis 1984)。

##### (3)生物累積

藉由海膽做毒物的生物累積，發現鎘會累積在 *S. droebachiensis* 的生殖腺 (Letourneau 1982)；在南加州海域，靠近主要污水排放區域的 *S. purpuratus*，其細胞質內的金屬累積量增加，雖然這些金屬與像 metallothionein 蛋白質結合而減輕了毒性的傷害 (Jenkins *et al.*, 1982a, b)。

##### (4)配子及胚胎發生的影響

大部分的海膽配子和胚胎的檢定方法是在成體釋放配子之後，配子才暴露在試體的。最近，一些研究者開始研究以非致死濃度的毒物注入親代體內，以研究其後來所排放的配子在受精和發生上受到的影響。蘇俄毒性學家，也發現成體暴露到鎘 (Khristoforova *et al.*, 1984) 和部分可溶的柴油 (Vashchenko 1980)，可導致子代的異常發生，而子代生殖腺沒有產生組織病理的改變。Hose and Puffer (1983) 也發現成體在注入苯後產生病變的配子（無定形的精子，受精率減低）及異常的胚胎發生（異常的原腸胚和細胞學上的／細胞基因學上的異常化）。

#### (二)以配子測試的方法

應用海膽的配子來測試海洋毒性的優點有①反應快，因為他們體積小，所以有很大的表面積／體積之比值；②生殖與受精有很多快速的連鎖反應，例如：精子活性、穿孔反應、卵受精膜突起、蛋白

質合成反應等等，可在短時間內加以定量。

#### (1) 精子的運動力

精子的運動力可用來測量金屬毒性 (Timourian and Watchmaker 1977)。然而，客觀地測量精子運動，需要相當複雜的程序，因而可能比其他測定方法還不敏銳（如：卵受精也需要健康具活性的精子）。或許可以利用活體染色 (Blom 1950) 來分辨出活的或死的精子，以改善精子活性的測定。

此外，精子之外形變化也曾被做為毒性指標 (Dinnel 1984)。一些毒物會影響精子之外形，如銅。這種測定的敏感性不若卵之受精。然而，在成體內發育中之精子外形，可能提供有用的毒性指標 (Hose and Puffer 1983)。再者，可以同時利用電子顯微鏡 (SEM) 做適當的精子外形判定。

精子活性的生理測量，也曾用來測量毒物的效應。精子的耗氧量，在不同的物理因子下對毒物反應敏銳的 (Mohri and Yasumasu 1963)。

#### (2) 受精

受精，特別是受精膜突起，在毒性的測試反應上最為明顯。雖然早在數十年前已在實驗室研究毒物（特別是重金屬）對受精的影響，但遲至 70 年代，才興起利用受精檢定環境毒物 (Allen 1971; Muchmore and Epel 1973; Renzoni 1974; Heslinga 1976)。最近，已有利用配子／受精檢定的標準方法，這些包括受精膜是否受到事先處理的精子或卵的影響 (Oshida and Geochev 1981; Dinnel *et al.*, 1982; Esposito *et al.*, 1984; Pagano *et al.*, 1986; McGibbon and Moldan 1986)。改良的精子／受精的檢定法 (Dinnel *et al.*, 1987) 為美國 EPA 所認定放流水之偵測基準之一 (Nacci *et al.*, 1985)。這種受精檢定法非常迅速，一般只需 1 小時，容易操作，且適合各地區性種類，可廣為世界所利用的。這種檢定方法比四天的胚胎發生 (Renzoni 1974; Kobayashi 1980; Oshida *et al.*, 1981; Dinnel *et al.*, 1982, 1983; Dinnel and Stober 1987) 或處理 96 h 的魚、幼生或大型的無脊椎動物 (Dinnel *et al.*, 1981; Dinnel 1984; Nacci *et al.*, 1986) 還要敏感。

#### (三) 以胚胎測試的方法

研究化學物質對海膽胚胎的影響，可追溯到 19 世紀末 (Herbst 1893)。那時候，許多研究者利用化學物質對胚胎發生的影響來闡明生物的基礎過程。但僅僅在最近 30 年，才有研究者利用胚胎來偵測環境。Wilson and Armstrong (1961) 首先觀察到胚胎的發生在天然水域可能受到不利的影響。在 60 年代和 70 年代，許多研究者，利用胚胎測試毒性，且建議其他的應用方法 (Kobayashi 1971)。這些早期的方法大多應用活存率、胚胎的外形或發育遲滯，做為毒性效應的指標。

最近十年，在評估毒性對胚胎發生的效應，有了更多的改進方法及許多新的判定標準，包括海膽色素的分光光度計測量 (Bay and Oshida 1983)；利用放射性的胸腺嘧啶測量 DNA 合成量 (Jackin and Nacci 1984; Nacci and Jackin 1985)；或經由分光螢光測量法，直接測量 DNA (Jackin and Nacci 1986) Vacquier and Brachet 利用放射性的胺基酸 (lucine) 結合量，來偵測蛋白質合成量，以反映 DNA 的合成量。Allemand *et al.* (1987) 已研究隨著受精，胺基酸的攝取量，雖然與毒性的工作無關。Uher and Carroll (1987) 研究孵化酶的合成與釋出。雖然目前並沒有使用其做為生物檢定的基準，這種或其他酶的研究可能增加胚胎毒性定量評估的基礎。

最近胚胎檢定的範圍，已擴展到細胞和基因的層次。Vacquier and Brachet (1969) 將配子暴露在 Ethidium Bromide 評定早期海膽胚胎發生時，染色體之不正常有絲分裂 (Pagano *et al.* 1982, 1983, 1984, 1985; Hose *et al.* 1983; House and Puffer 1983)。最近此一方法常被應用在海膽配子和胚胎。Hose (1985) 和 Pagano *et al.* (1986) 曾列出特定的測試方法，結合了精

子毒性，發生的毒性（直接暴露胚胎），基因毒性（異常的有絲分裂速度，在有絲分裂後期異常的染色體結構和小核的形成）和在精子暴露後，子代的品質。這些實驗室多樣性層次測試終點系統的可行性，反應出它在野外研究的可塑性。

綜合上述海膽測試系統有下列幾點優點：

- 後口動物
- 多種不同發育階段
- 短的暴露時間
- 快而敏感的反應
- 多種不同層次的測試
- 低成本
- 再現性高
- 全球性的測試系統
- 豐富的基礎文獻

目前海膽測試系統的全球性應用，尚待改進的缺點有：①各實驗室之間，缺乏標準化的方法，②海膽測試和其他生物之間，缺乏敏感性的比較數據，③活體內的研究缺乏，④海膽系統不能測試致癌物質（雖然基因毒性對致癌物質的測量可能是個好的代用品）。

### 3. 臺灣棘皮動物生物監視之研究概況及展望

臺灣之棘皮動物已報導有海膽類 35 種，海參類 23 種，海星 16 種，陽燧足 13 種及海百合 20 種 (Hayasaka, 1984; Chen and Chang 1981a; Wu, 1982; Wang, 1984; Chen *et al.*, 1988; Chao & Chang 1989a, b)。這些種類以潮間帶種最易取得及飼育，一般可用過濾流水水槽 (water table) 飼育。

目前做過的飼育研究有海錢 *Arachnoides placenta*, *Taiwanaster mai*，海星 *Archaster typicus*, *Patiriella pseudoexigua*, *Asterina coronata*，海參 *Actinopyga echinites* 及陽燧足。

在這些棘皮動物中，以陽燧足之活動最快，又有自割行為。海錢有潛沙，爬行的行為；海星 (*P. pseudoexigua*) 口面貼在玻璃，翻出墨綠色的胃觀察容易；澎湖海星 (*A. typicus*) 則口面貼在底層，翻出淡黃綠色的胃，需翻海星才能看到；海參行動緩慢，但有自割行為，而捕食及排遺行為很容易觀察。這些行為是否受到水質污染之影響，目前正研究之中。

除個體行為之觀察研究外，臺灣棘皮動物的胚胎發生、幼生發育、稚體之飼育也都有所研究。最近，Chen (1990) 曾綜合整理臺灣棘皮動物之生殖生物學，而有關幼生飼育 (阮、陳 1989) 及海錢成體之飼育方法亦有所報導 (黃、陳 1989)，但有關其在海域環境之監視則加緊研究之中。

此外，在核二廠發電前，野柳附近海域之馬糞海膽之生殖週期曾有過調查 (Chen and Chang 1981b)。吾人比較日本、紅海、菲律賓、澳洲等地的馬糞海膽，發現其生殖週期與緯度有關。暗示溫度可能是影響其生殖週期之重要因素之一。若能再次調查或能偵測電廠熱廢水是否影響海域。

展望國內棘皮動物之應用於環境監視，除基礎資料尚缺乏之外，最可能之限制因素，可能來自臺灣之地理環境使然。臺灣位處亞熱帶，其生物相具有種類多，數量少之特性，將來在執行上可能會有缺貨之問題。此外。生殖週期短，在配子如精、卵的應用上，也受到相當的限制。

解決之道，為人工繁殖有經濟價值的海膽、海參，大量釋放於海域，這不僅可提供測試材料，而且可以發展淺海養殖。而如何隨時有成熟精子以利執行海域監視，則除冷凍精子之外，尚應研究調適其生殖週期之方法。

#### 4. 結 論

人類在應用各類自然資源，以改善人類的的生活之際，也破壞了自然之自淨能力，以致威脅了生命在地球之存在。而今人類需以人類以外的生命來測試人類所造成的惡劣環境，以保障人類的生命。人類應負起責任清除污染了的環境，並且保護不使之再污染，這樣地球上的所有生命才得以莊嚴的生存。

#### 謝 辭

本報告為臺灣電力公司研究「海域生物監測及預警系統建立之研究」中「棘皮動物之應用之部份」，特此感謝臺電之贊助。

#### 參 考 文 獻

- 何麗如、葉庭芳、陳鎮東，(1988)。中國鋼鐵公司爐石拋填海域水質變化因素之探討。環境保護與生態保育研討會論文專集，337-361 頁。
- 阮靜觀、陳章波，(1989)。棘皮動物幼生之實驗室飼育法—以海膽、海錢及海星為例。生物科學，第三十二卷，第一期，5-22 頁。
- 郭景聖、陳鎮東，(1988)。臺灣東岸外海廢酸海拋之可行性研究。環境保護與生態保育研討會論文專集，317-355 頁。
- 黃淑芬、陳章波，(1989)。海錢的一生及其飼育方法。生物科學，第三十二卷，第二期，29-39 頁。
- 鄭森雄。(1984)。漁業環境保護，臺灣省水產學會印行。
- 廖一久，(1989)。我國的水產業及水產研究之成果，現況與展望。中國水產，第 439 期，5-15 頁。
- 顏沛華、黃正欣、呂珍謀、涂聖文、黃煌輝、湯麟武，(1988)。左營及二仁溪流域污水海洋放流計畫現場調查實測分析。環境保護與生態保育研討會論文專集，67-94 頁。
- Allain, J. Y. (1978). Deformations du test chez l'oursin *Lytechinus variegatus* (Lamarck) de la Baie de Carthagene. *Culdasin* 12: 363-375.
- Allemand, D., G. DeRenzi, J. Girard and P. Payan (1987). Activation of amino acid uptake at fertilization in the sea urchin egg. *Exp. Cell Res.* 169: 169-177.
- Allen, H. (1971). Effects of petroleum fractions on the early development of a sea urchin. *Mar. Poll. Bull.* 2: 138-140.
- Applegate, A. L. (1984). Echinoderms of Southern Taiwan. *Bull. Inst. Zool., Academia Sinica* 23: 93-118.
- Axiak, V. and Saliba, L. J. (1981). Effects of surface and sunken crude oil on the behavior of a sea urchin. *Mar. Poll. Bull.* 12: 14-19.
- Bay, S. M. and P. S. Oshida (1983). A simple new bioassay based on echinochrome synthesis by larval sea urchins. *Mar. Environ. Res.* 8: 29-39.
- Blom, E. (1950). A one-minute live-dead sperm stain by means of Eosin-Nigrosin. *Fertility and Sterility* 1(2): 176-177.
- Bryan, G. W., W. J. Langston, L. G. Hummerstone and G. R. Burt (1985). A guide to the assessment of heavy-metal contamination in estuaries using biological indicators. Marine Biological Association of the United Kingdom.
- Chao, S. M. and K. H. Chang (1989a). The shallow-water Holothurians (Echinodermata: Holothurioidea) of Southern Taiwan. *Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica* 28(2): 107-137.
- Chao, S. M. and K. H. Chang (1989b). Some shallow-water asteroids (Echinodermata: Asteroidea) from Taiwan. *Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica* 28(3): 215-223.
- Chen, C. P. and K. H. Chang (1981a). The regular sea urchins of Taiwan. *Bull. Inst. Zool., Academia Sinica* 20(2): 79-86.
- Chen, C. P. and K. H. Chang (1981b). Reproductive periodicity of the sea urchin, *Tripneustes gratilla* (L.) in Taiwan compared with other regions. *International Journal of Invertebrate Reproduction*, 3: 309-319.
- Chen, J. C., K. H. Chang and C. P. Chen (1988). Shallow water Crinoids of Kenting national park, Taiwan. *Bull. Inst. Zool., Academia Sinica* 27(2): 73-90.
- Chen, C. P. (1990). Reproductive biology of Echinoderms in Taiwan. *Acta Oceanographica Taiwanica*. (in press)

- Danfi, J. (1980). Abnormal growth patterns in the sea urchin *Tripneustes cf. gratilla* (L.) under pollution (Echinodermata, Echinodea). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **47**: 259-279.
- Delmas, P. and M. B. Regis (1984). Influence of domestic pollution generated by the discharge of the Marseilles-Cortiou sewage outlet on the distribution and morphology of *Paracentrotus lividus* (Lmk.). In: Keegah, B. F. and B. D. S. O'Connor (eds.) Echinodermata. Proc. Fifth Internat'l. Echinoderm Conf., Galway, Ireland. p. 381.
- Dinnel, P. A. (1984). Development, refinement, and validation of a sperm cell bioassay for toxicity assessment of marine waters. Ph. D. Dissertation, Univ. Wash., Seattle 220 pp.
- Dinnel, P. A., Q. J. Stober and D. H. DiJulio (1981). Sea urchin bioassay for sewage and chlorinated seawater and its relation to fish bioassays. *Mar. Environ. Res.* **5**: 29-39.
- Dinnel, P. A., Q. J. Stober, S. C. Crumley and R. E. Nakatani (1982). Development of a sperm cell toxicity test for marine waters. In: Pearson, J. G. Foster, R. B. and Bishop, W. E. (eds.) Aquatic Toxicology and Hazard Assessment: Fifth Conference, ASTMSTP 766, Amer. Soc. Testing and Materials, Philadelphia. pp. 82-98.
- Dinnel, P. A., Q. J. Stober, J. M. Link, M. W. Lstom, W. R. Roberts, S. P. Felton and R. E. Nakatani (1983). Methodology and validation of a sperm cell toxicity test for testing toxic substances in marine waters. Final Report to Wash. Sea Grant. Univ. Wash., Fish. Res. Inst. FRIUW-8306. 208 pp.
- Dinnel, P. A., J. M. Link and Q. J. Stober (1987). Improved methodology for a sea urchin sperm cell bioassay for marine waters. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* **16**: 23-32.
- Dinnel, P. A. and Q. J. Stober (1987). Application of the sea urchin sperm bioassay to sewage treatment efficiency and toxicity in marine waters. *Mar. Environ. Res.* **21**: 121-133.
- Dinnel, P. A., G. G. Pagano and P. S. Oshida (1988). A sea urchin test system for marine environmental monitoring. Echinoderm Biology, Burke *et al.* (eds). pp. 611-619.
- Esposito, A., M. Cipollaro, G. Corsale, E. Ragucci, G. G. Giordano and G. G. Pagano (1984). The sea urchin bioassay in testing pollutants. In: Dov, H. G. M. and C. M. Giam (eds.) Strategies and Advanced Techniques for Marine Pollution Studies. NATO, Brussels.
- Hay, M. E., R. R. Lee Jr., R. A. Guich and M. M. Bennett (1986). Food preference and chemotaxis in the sea urchin *Arbacia punctulata* (Lamarck) Philippi. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **96**: 147-153.
- Hayasaka, I. (1948). Notes on the Echinoids of Taiwan. *Bulletin of the Oceanographical Institute of Taiwan* **4**: 1-35.
- Heslinga, G. A. (1976). Effects of copper on the coral-reef echinoid *Echinometra mathaci*. *Mar. Biol.* **35**: 155-160.
- Hose, J. E. and H. W. Puffer (1983). Cytologic and cytogenetic anomalies induced in purple sea urchin embryos (*Strongylocentrotus purpuratus* S.) by parental exposure to benzo(a)pyrene. *Mar. Biol. Lett.* **4**: 87-95.
- Hose, J. E. (1985). Potential uses of sea urchin embryos for identifying toxic chemicals: Description of a bioassay incorporating cytologic, cytogenetic and embryologic endpoints. *J. Appl. Toxicol.* **5**: 245-254.
- Jackim, E. and D. Nacci (1984). A rapid aquatic toxicity assay utilizing labeled thymidine incorporation in sea urchin embryos. *Environ. Toxicol. Chem.* **3**: 361-363.
- Jackim, E. and D. Nacci (1986). Improved sea urchin DNA-based embryo growth toxicity test. *Environ. Toxicol. Chem.* **5**: 561-565.
- Jenkins, K. D., D. A. Brown and P. S. Oshida (1982a). Detoxification of metals in sea urchins. In: Bascom, W. (ed.) SCCWRP Bien. Rpt. 1981-1982. South. Calif. Coast. Water Res. Proj. pp. 173-223.
- Jenkins, K. D., D. A. Brown, P. S. Oshida and E. M. Perkins (1982b). Cytosolic metal distribution as an indicator of toxicity in sea urchins from the Southern California Bight. *Mar. Poll. Bull.* **13** (12): 413-421.
- Johnson, F. G. (1979). The effects of aromatic petroleum hydrocarbons on chemosensory behavior of the sea urchin, *Strongylocentrotus droebachiensis*, and the nudibranch, *Onchidoris bilamellata*. Ph. D. Dissertation, Univ. Wash., Seattle. 110 pp.
- Khristoforova, N. K., S. M. Gnezdilova and G. A. Vlasova (1984). Effect of cadmium on gametogenesis and offspring of the sea urchin *Strongylocentrotus intermedius*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **17**: 9-14.
- Kobayashi, N. (1971). Fertilized sea urchin eggs as an indicatory material for marine pollution bioassay, preliminary experiments. *Publ. Seto Mar. Biol. Lab.* **28**(6): 376-406.

- Kobayashi, N. (1974). Marine pollution bioassay by sea urchin eggs, an attempt to enhance accuracy. *Publ. Seto Mar. Biol. Lab.* **21**(5/6): 377-391.
- Kobayashi, N. (1977). Preliminary experiments with sea urchin pluteus and metamorphosis in marine pollution bioassay. *Publ. Seto Mar. Biol. Lab.* **24**(1/3): 9-21.
- Kobayashi, N. (1980). Comparative sensitivity of various developmental stages of sea urchins to some chemicals. *Mar. Biol.* **58**: 163-171.
- Kobayashi, N. (1981). Comparative toxicity of various chemicals, oil extracts, and oil dispersant extracts to Canadian and Japanese sea urchin eggs. *Publ. Seto Mar. Biol. Lab.* **226**(1/3): 123-133.
- Letourneau, M. W. (1982). Toxicity of cadmium, copper and silver on five Puget Sound marine organisms. MA Thesis, Univ. Wash., Seattle. 79 pp.
- McGibbon, S. and A. G. S. Moldan (1986). Routine toxicity testing of toxicants using a sea urchin gamete bioassay. *Mar. Poll. Bull.* **17**(2): 68-72.
- Mohri, H. and I. Yasumasu (1963). Studies on the respiration of sea urchin spermatozoa. V. The effects of  $PCO_2$ . *J. Exp. Biol.* **40**: 573-586.
- Muchmore, D. and D. Epel. (1973). The effects of the chlorination of wastewater on fertilization in some marine invertebrates. *Mar. Biol.* **19**: 93-95.
- Nacci, D. E. and E. Jackim (1985). Rapid aquatic toxicity assay using incorporation of tritiated-thymidine into sea urchin, *Arbacia punctulata*, embryo. In: Bahner, R. C. and D. J. Hansen (eds.), Aquatic Toxicology and Hazard Assessment: Eighth Symposium. ASTM STP 891. Amer. Soc. Testing and Materials, Philadelphia, PA. pp. 382-393.
- Nacci, D., E. Jackim and R. Walsh (1986). Comparative evaluation of three rapid marine toxicity tests: Sea urchin early embryo growth test, sea urchin sperm cell toxicity and microtox. *Environ. Toxicol. Chem.* **5**: 521-526.
- Neff, J. M. and J. W. Anderson (1981). Response of Marine Animals to Petroleum Hydrocarbons. Applied Science Publ. Ltd., London. pp. 89-92.
- Oshida, P. S., T. K. Goochey and A. J. Mearns (1981). Effects of municipal wastewater on fertilization, survival, and development of the sea urchin, *Strongylocentrotus purpuratus*. In: Vernberg, F. S., A. Calabrese, F. P. Thurberg and W. B. Vernberg (eds.), Biological Monitoring of Marine Pollutants. Academic Press, New York. pp. 389-402.
- Pagano, G., A. Esposito, P. Bove, M. de Angelis, A. Rota, E. Vamvakinos and G. Giordano (1982). Arsenic-induced developmental defects and mitotic abnormalities in sea urchin development. *Mutation Res.* **104**: 351-354.
- Pagano, G., A. Esposito, G. Giordano, E. Vamvakinos, I. Quinto, G. Bronzetti, C. Bauer, C. Corsi, R. Nieri and A. Ciajolo (1983). Genotoxicity and teratogenicity of diphenyl and diphenyl ether: A study on sea urchins, yeast, and *S. typhimurium*. *Terat. Carcin. Mutag.* **3**: 377-393.
- Pagano, G., P. Bove, G. Calicchio, M. Cipollaro, M. de Angelis, A. Esposito, F. Malgieri, A. Rota, E. Vamvakinos and G. Giordano (1984). Non-linear dose-response patterns in mitotic abnormalities and developmental defects following sea urchin sperm irradiation. A non-Hertwig effect. *Mutation Res.* (Abstract) **130**: 184.
- Pagano, G., M. Cipollaro, G. Corsale, A. Esposito, E. Ragucci and G. Giordano (1985). pH-induced changes in mitotic and developmental patterns in sea urchin embryogenesis. I. Exposure of embryos. *Terat. Carcin. Mutag.* **5**: 101-112.
- Pagano, G., M. Cipollaro, G. Corsale, A. Esposito, E. Ragucci, G. G. Giordano and N. M. Trieff (1986). The sea urchin: Bioassay for the assessment of damage from environmental contaminants. In: Cairns, J. Jr. (ed.), Community Toxicity Testing. ASTM STP 920. Amer. Soc. for Testing and Materials, Philadelphia, Pa. pp. 66-92.
- Pavillon, J. F. (1988). Sea urchin eggs and larvae: Excellent biological indicators. *Echinoderm Biology*, Burke *et al.* (eds.) pp. 621-626.
- Renzoni, A. (1974). Influence of toxicants on marine invertebrate larvae. *Thalassia Jugoslavica* **10** (1/2): 197-211.
- Schiewe, M. and D. Misitano (1986). Juvenile geoducks and sand dollars studied for use in long-term sediment bioassays. In: Quart. Rpt. Northwest and Alaska Fish. Center, NMFS, Seattle, Wash. July-Aug-Sept. 1986. pp. 17-19.
- Timourian, H. and G. Watchmaker (1977). Assay of sperm motility to study the effects of metal ions. In: Drucker, H. and E. Wildung (eds.), Biological Implications of Metals in the Environment. Proc. 15th Annual Hanford Life Sciences Symposium, Richland, Wash. *ERDA Symposium Series* **42**: 523-535.

- Uher, V.I. and E.J. Carrol, Jr. (1987). Characterization of hatching-associated changes in the sea urchin fertilization envelop. *Gamete Res.* 16: 267-279.
- Vacquier, V.D. and J. Brachet (1969). Chromosomal abnormalities resulting from ethidium bromide treatment. *Nature* 222: 193-195.
- Vashchenko, M. A. (1980). The effect of water soluble hydrocarbon fraction of diesel fuel on the development of gametes and quality of offspring of the sea urchin *Strongylocentrotus nudus*. *Soviet J. Mar. Biol.* 6(4): 236-242.
- Wang, C. C. (1984). New classification of clypeasteroid echinoids. *Proceedings of the Geological Society of China* 27: 119-152.
- Wilson, D. P. and F. A. J. Armstrong (1961) Biological differences between sea waters: Experiments in 1960. *J. Mar. Biol. Assn. U. K.* 41: 663-681.
- Wu, S. K. (1982). The ophiurians (Echinodermata: Ophiuroidea) of Taiwan. *Biol. Bull. Taiwan Normal Univ.* 17: 15-23.

## Application of Echinoderms in Environmental Monitoring System for Coastal Water Conservation

Chang-Po Chen and Bih-Yuh Chen

*Institute of Zoology, Academia Sinica Nankang,  
Taipei 11529, Republic of China*

### ABSTRACT

Echinoderms, especial sea urchins have been applied world-widely in environmental monitoring. All life stages, from gametes, fertilization, embryos to adults can be used in various aspects of application. The referent points include the changes of behavior, physiology, ecology, etc. The potential of applying echinoderms in monitoring coastal water of Taiwan is addressed.