

汞在牡蠣體內之蓄積與排出

陳建初* 秦宗顯**

本實驗探討水中溶解汞在牡蠣 (*Crassostrea gigas*) 體內之蓄積與排出的情形。將牡蠣分別飼育於含汞 $20\mu\text{g}/\ell$ 及 $200\mu\text{g}/\ell$ 之海水中，結果顯示，牡蠣可食部份之汞蓄積量隨着蓄積天數的增加而增高， $200\mu\text{g}/\ell$ 組之汞蓄積量均高於 $20\mu\text{g}/\ell$ 組。經過44天後， $20\mu\text{g}/\ell$ 組及 $200\mu\text{g}/\ell$ 組其可食部份的平均含汞量分別可達 $9.9\mu\text{g}/\text{g}$ 及 $91.3\mu\text{g}/\text{g}$ 。濃縮因素 (Concentration factor) 在前24天時， $20\mu\text{g}/\ell$ 組大於 $200\mu\text{g}/\ell$ 組，到了第32天後 $20\mu\text{g}/\ell$ 組則小於 $200\mu\text{g}/\ell$ 組。牡蠣對汞的蓄積能力很強，其濃縮因素可達數百倍之高，因此生長在汞污染水域之牡蠣，其可食部份之汞含量可能會超過美國 FDA (美國食品藥物管理局) $0.5\mu\text{g}/\text{g}$ 之限制標準而不宜食用。將牡蠣置於不添加汞之海水中，經過12天後，其含汞量 $20\mu\text{g}/\ell$ 組及 $200\mu\text{g}/\ell$ 組分別降為 $3.97\mu\text{g}/\text{g}$ 及 $53.9\mu\text{g}/\text{g}$ ，顯示牡蠣體內的汞在清潔海水中有顯著減少的情形，因此牡蠣採收後，宜放置於清水中一段時間後上市較妥。

* 國立海洋學院養殖學系 系主任

** 國立海洋學院養殖學系 研究助理

一、前言

目前本省每年進口的汞有 80 % 用於碱氯工業⁽¹⁾，因此這一類的工廠可能會有汞外流造成污染⁽²⁾。水中之微量重金屬可直接或經由生物的累積即食物鏈的傳遞進入人體而影響到人類的健康^(3,4)。在 1960 年日本水俣市居民就由於食用含汞之魚貝類引起了所謂的水俣病 (Minamata disease)^(5,6)。近年來，本省西南沿海的魚貝類常發生大量斃死，根據初步之瞭解認為與工廠排水有關⁽⁷⁾，牡蠣為本省相當重要之養殖種類之一⁽⁸⁾，由於重金屬在牡蠣體內有很強之蓄積^(9,10)，因此為了瞭解水中微量汞在牡蠣體內蓄積與排出的情形而進行本實驗。

二、實驗材料及方法

本實驗所用的牡蠣係購自鹿港的牡蠣養殖戶，可食部份的平均濕重為 $1.64 \pm 0.57 \text{ g}$ ，實驗前將牡蠣置於流水式之塑膠水槽內馴養 (Acclimation) 一星期。先以氯化汞 (HgCl_2) 配成濃度為 100 mg/l 及 1000 mg/l 之汞水溶液做為母溶液 (Stock solution)，於 20 l 海水之玻璃水族箱中 ($66 \times 32 \times 30 \text{ cm}$) 分別添加汞濃度 100 mg/l 及 1000 mg/l 之母溶液 4 ml 配成 $20 \mu\text{g/l}$ 及 $200 \mu\text{g/l}$ 汞水溶液做為實驗組，另有一箱為不加汞之海水做為對照組，每箱放入牡蠣 50 粒。蓄積的試驗在第 8、16、24 及 32 天分別由各箱各取 2 粒，到了第 36、40 及 44 天由各箱各取 3 粒分析其可食部份之含汞量。排出的試驗在第 44 天起各箱均換成沒有添加汞之海水，於第 52 及 56 天由各箱各取 3 粒，同上分析汞之含量。實驗期間，每天換水，不餵食，海水之鹽度為 17.~20. ‰，pH 為 8.0 ± 0.2 ，水溫為 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ，所用之海水均測不出有汞。

汞含量測定是利用日立 Model 207-0290 附加還原裝置 (Mercury Reduction Unit) 接日立 170-40 原子吸收分光光度計 (Atomic

Absorption Spectrophotometer) 測定(11,12)。即取適量試料於硝酸-硫酸溶液中用高錳酸鉀(KMnO_4)氧化成汞離子，再添加過量之 hydroxylamine hydrochloride ($\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$) 除去過量之高錳酸鉀，加氯化亞錫(SnCl_2)使汞離子還原成金屬汞，用無焰原子吸收分光光度計法(Flameless atomic absorption spectrophotometry)，以 253.7 nm 波長測其吸光度，由同法操作所得之標準曲線換算出試料中每克濕重之含汞量，標準溶液之標準偏差率除 $0.1\ \mu\text{g}$ 為 12.5 % 外，其餘 $0\sim 4.0\ \mu\text{g}$ 皆在 4.8 % 以下。

三、結果與討論

Figs. 1 及 2 分別為水中汞濃度 $20\ \mu\text{g}/\ell$ 及 $200\ \mu\text{g}/\ell$ 時，牡蠣體內含汞量與蓄積及排出時間的關係。汞蓄積量隨著蓄積天數的增加而增高， $200\ \mu\text{g}/\ell$ 組之牡蠣汞蓄積量均高於 $20\ \mu\text{g}/\ell$ 組之牡蠣汞蓄積量。經過 8 天後， $20\ \mu\text{g}/\ell$ 及 $200\ \mu\text{g}/\ell$ 兩組之牡蠣汞蓄積量分別為 $2.56\ \mu\text{g}/\text{g}$ 及 $8.80\ \mu\text{g}/\text{g}$ ，均已超過美國 $0.5\ \mu\text{g}/\text{g}$ ，義大利 $0.7\ \mu\text{g}/\text{g}$ ，瑞典 $1\ \mu\text{g}/\text{g}$ 之限制標準甚多(13)，臺灣目前公共水域之水質基準對於汞定為 $5\ \mu\text{g}/\ell$ (14)，工廠及礦場放流水之標準對於汞定為 $50\ \mu\text{g}/\ell$ (15)，因此汞即使在放流標準以下，魚貝類雖然不致於斃死，但宜注意在於短期間內是否會蓄積了相當濃度的汞而不宜食用。從 Fig.1 得知牡蠣飼育於汞濃度為 $20\ \mu\text{g}/\ell$ 之水中，經過 16、24、32、36 及 40 天後，其平均汞蓄積量分別為 3.7、3.9、4.6、5.0 及 $5.1\ \mu\text{g}/\ell$ ，再由 Fig.2，牡蠣飼育於汞濃度為 $200\ \mu\text{g}/\ell$ 之水中，經過 16、24、32、36 及 40 天後，其平均汞蓄積量分別為 18.8、30、53、82 及 $87\ \mu\text{g}/\text{g}$ ，由此發現牡蠣在 $20\ \mu\text{g}/\ell$ 組的蓄積量低，在 $200\ \mu\text{g}/\ell$ 組的蓄積量高。短頸蛤(Short-necked clam, *Tapes japonica*)於含汞 $1\ \mu\text{g}/\ell$ 與 $10\ \mu\text{g}/\ell$ 之水中，7 天後也發現於 $10\ \mu\text{g}/\ell$ 組的體內蓄積量較大(16)。到了第 44 天， $20\ \mu\text{g}/\ell$ 組之牡蠣汞蓄積量可達 $9.9\ \mu\text{g}/\text{g}$ ， $200\ \mu\text{g}/\ell$

組之牡蠣體內蓄積量可達 $91.3\mu\text{g/g}$ ，因此如果牡蠣在比上述濃度更高之水域中，汞蓄積量也可能愈多，而且汞蓄積量也可能隨時間增加而增加。Fig. 3 為汞蓄積量與水中汞濃度之比即濃縮因素 (Concentration factor) 與天數之關係，第 8.天到 44.天之濃縮因素， $20\mu\text{g/l}$ 組及 $200\mu\text{g/l}$ 組分別為 128 ~ 495 倍及 44 ~ 456 倍，於頭 24.天內 $20\mu\text{g/l}$ 組的濃縮因素較大， $200\mu\text{g/l}$ 組的濃縮因素較小，第 32.天到 40.天之間， $20\mu\text{g/l}$ 組及 $200\mu\text{g/l}$ 組的濃縮因素反而大於 $200\mu\text{g/l}$ 組，第 44.天時 $20\mu\text{g/l}$ 組及 $200\mu\text{g/l}$ 組的濃縮因素分別為 495 倍及 456 倍。鯽魚在水中汞濃度愈大，在其體內汞之濃縮因素越小，水中汞濃度愈小，在其體內汞之濃縮因素越大⁽¹⁷⁾。在本實驗中頭 24.天時不論 $20\mu\text{g/l}$ 組或 $200\mu\text{g/l}$ 組，其濃縮因素雖然以 $20\mu\text{g/l}$ 組較大，但上昇均很緩慢，到了 40.天後 $20\mu\text{g/l}$ 組之濃縮因素上昇也很緩和，但 $200\mu\text{g/l}$ 組之濃縮因素則急劇上昇。Eastern Oyster (*C. virginica*) 於含汞 $50\mu\text{g/l}$ 之流水中，7.天及 42.天後其體內汞濃度分別為 $25.\mu\text{g/g}$ 及 $60.\mu\text{g/g}$ ，濃縮因素為 500 ~ 1200 倍⁽³⁾，臺灣西岸養殖貝類累積重金屬因子之研究中指出，由海域及牡蠣乾重之含汞量得到之濃縮因素達 730 ~ 1250 倍⁽¹⁸⁾。根據 Turekian (1969) 及 Waldichuk (1976) 之報告自然界中海水之平均濃度為 $0.05\mu\text{g/l}$ 及 $0.15\mu\text{g/l}$ ^(19,20)，如果經由牡蠣數百倍之濃縮後，尚符合美國 FDA (美國食品藥物管理局) $0.5\mu\text{g/g}$ 之限制標準，本省養殖貝類地區之海水含汞量介於 $0.00 \sim 1.50\mu\text{g/l}$ 之間⁽²¹⁾，顯示本省沿海有些海域已經開始受到汞之污染，如果經由牡蠣數百倍之濃縮後，尚不致於超過美國 FDA $0.5\mu\text{g/g}$ 之限制標準。

從第 44.天起移入不添加汞之海水中，經過 8.天後， $20\mu\text{g/l}$ 組及 $200\mu\text{g/l}$ 組之牡蠣的平均汞含量分別降至 $7.7\mu\text{g/g}$ 及 $64.33\mu\text{g/g}$ ，經過 12.天後， $20\mu\text{g/l}$ 組及 $200\mu\text{g/l}$ 組再降至 $3.97\mu\text{g/g}$ 及 $53.9\mu\text{g/g}$ ，顯示牡蠣在清水中汞有排出的情形。如果以第 44.天的牡蠣汞含量為分

母，以第52天的汞含量為分子，於 Fig. 4 得知牡蠣體內汞保有率 (Retention percent)， $20\mu\text{g}/\ell$ 組與 $200\mu\text{g}/\ell$ 組分別為 77.86 % 及 70.48 %，顯示牡蠣在清水中經過 8 天後， $20\mu\text{g}/\ell$ 組比 $200\mu\text{g}/\ell$ 組之汞保有率稍多，也就是說排出的頭 8 天 $20\mu\text{g}/\ell$ 組之汞排出率略小於 $200\mu\text{g}/\ell$ 。如果以第52天的汞含量為分母，第56天的汞含量為分子，得知 $20\mu\text{g}/\ell$ 組與 $200\mu\text{g}/\ell$ 組之汞保有率分別為 51.56 % 及 83.79 %，顯示 $20\mu\text{g}/\ell$ 組的汞排出率遠大於 $200\mu\text{g}/\ell$ 組，這可能是 $200\mu\text{g}/\ell$ 組蓄積之汞已達飽和，因此一旦於清水中開始之頭 8 天其排出率很大，但到了第12天後，其汞的排出率則小於 $20\mu\text{g}/\ell$ 組。陳等曾指出蓄積在鯽魚體內之汞，於清水中10天後以低濃度組的排出率遠大於高濃度組 (17)。由於蓄積在牡蠣之汞於清水中經過12天後可排出原來的一半，因此牡蠣收穫後放置於清水中一段時間後上市可能較妥。

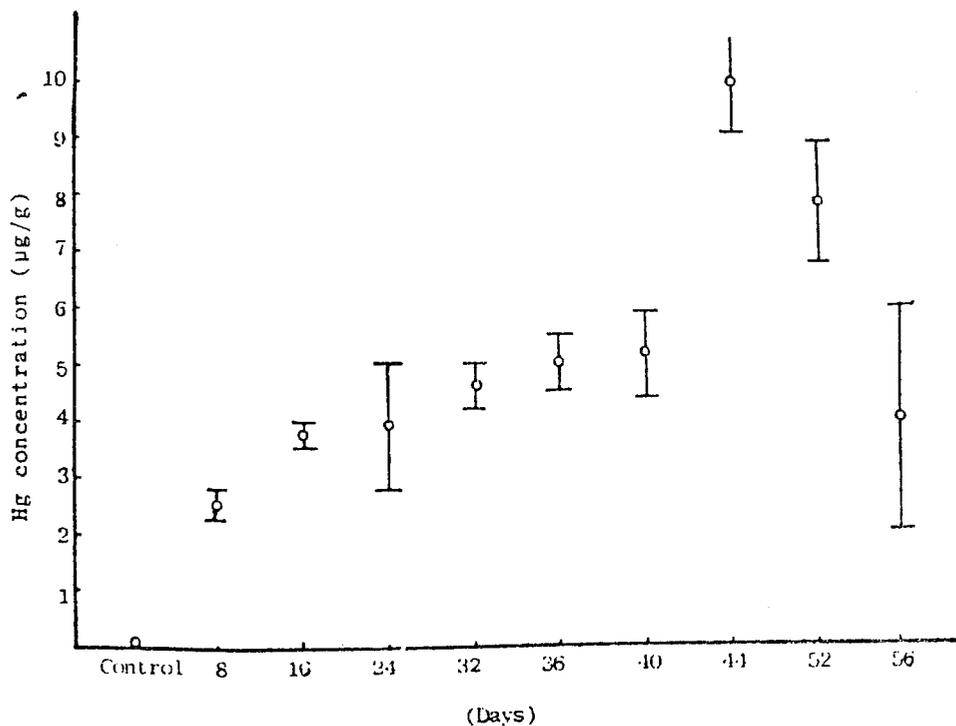


Fig. 1. Mercury concentration of oyster exposed to $20\mu\text{g}/\ell$ Hg sea water for 44 days and then self-depurated in Hg free sea water for another 12 days.

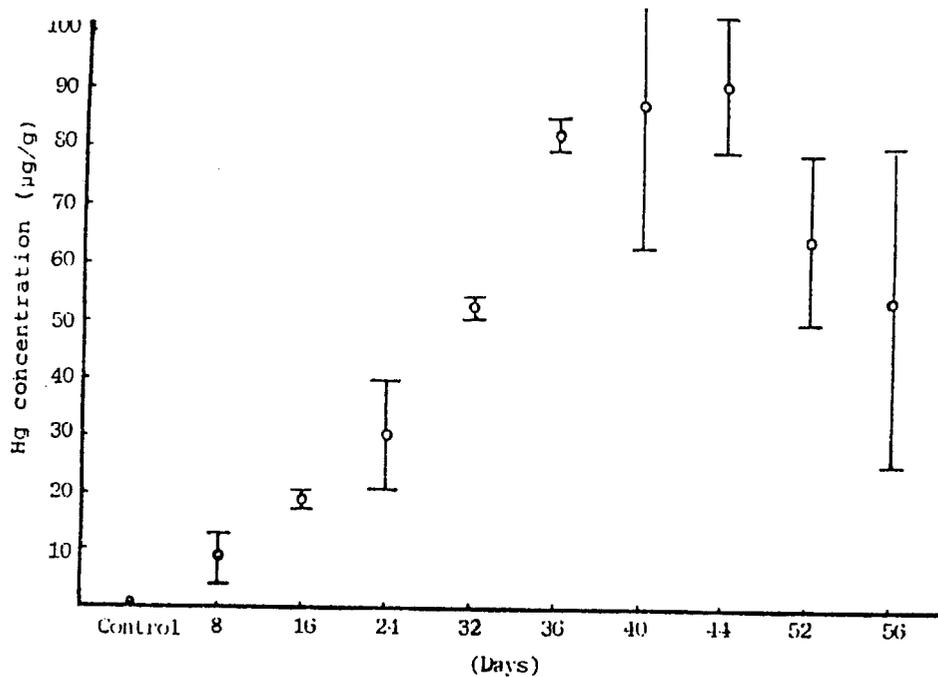


Fig. 2. Mercury concentration of oyster exposed to $200 \mu\text{g}/\ell$ Hg sea water for 44 days and then self-depurated in Hg free sea water for another 12 days.

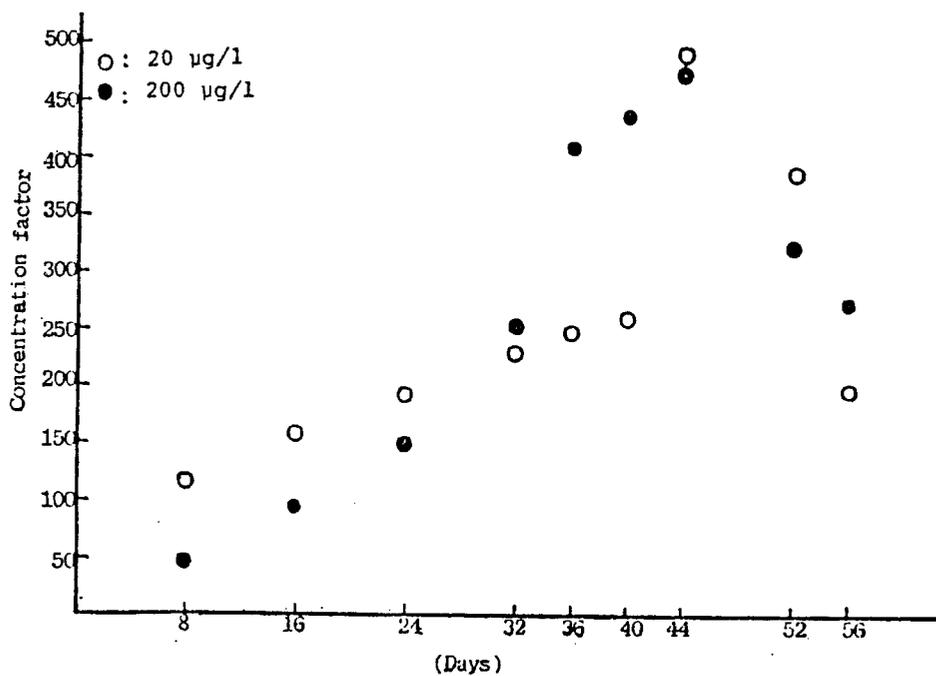


Fig. 3. Concentration factor of Hg in the oyster exposed to $20 \mu\text{g}/\ell$ or $200 \mu\text{g}/\ell$ Hg sea water for 8, 16, 24, 32, 36, 40 and 44 days and then self-depurated in the Hg free sea water for 8 and 12 days.

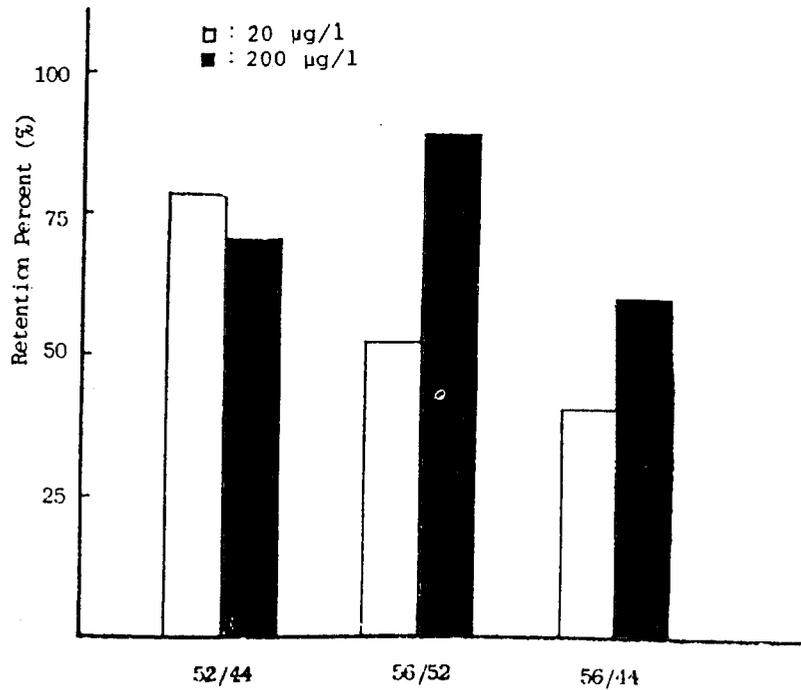


Fig. 4. Retention percent of Hg in the oyster (*C. gigas*) which was exposed to sea water containing $20 \mu\text{g}/\ell$ or $200 \mu\text{g}/\ell$ of Hg for 44 days then removed to Hg free sea water for 12 days. The blank columns represent $20 \mu\text{g}/\ell$ and the black columns represent $200 \mu\text{g}/\ell$.

誌 謝

本研究爲農發會補助計劃之一部分，計劃編號72- 農建 - 4. 1 - 源 - 54，謹向農發會及漁業組組長袁柏偉、技正李健全博士致謝，實驗期間承海洋學院養殖系助理劉秉忠及學生林豪、梁宗強、周昱翰及朱振宇等員之協助，另外又承海洋學院客座副教授白書禎博士及陳瑤湖博士之建言，在此一併致最大的謝忱。

本文已發表於「台灣水產學會刊」第十卷第二期。

參考文獻

1. 李錦地、張嵩林、郭錦洛、王松賓、洪正中、易國楨(1980)，毒性污染物使用量及殘餘量報告。臺灣省水污染防治所編印，p.7。
2. 林志森(1978)，鹼氯工廠水銀污染防治研究。p.13-18。
3. Kopfler, F. C. (1974). The accumulation of organic and inorganic mercury compounds by the Eastern Oyster (*Crassostrea virginica*).
4. Hammod, A. L. (1971). Mercury in the environment: natural and human factors. *Science*, 171: 788-789.
5. 鄭森雄、許鐘榮(1977)水俣病。科學月刊，8(3): 37-42。
6. Environment Agency (1972). Pollution related disease and relief measures in Japan, 1-18, Printing Bureau, Ministry of Finance. Tokyo. Japan.
7. 鄭森雄(1975)，臺灣西南沿海養殖貝類大量死亡原因之研究。中國農村復興聯合委員會漁業專輯第18號。
8. Kuo, Ho (1964). Economic molluscs of Taiwan. J.C.R.R. Special publication No.38 (in Chinese).
9. Phillips, D. J. H(1979). The rock oyster *Saccostrea glomerata* as an indicator of trace metal in Hongkong. *Mar. Bio.*, 53: 353-360.
10. Walting, H. R. and R. J. Walting (1976). Trace metal in oyster from Kuysna estuary. *Mar. Pollu. Bull.*, 7(3): 45-48.
11. 日立精工所(1977)取扱說明書。170-40型原子吸光/熒光分光光度計，東京、日本。
12. Hitachi LTD. (1974). Instruction manual for the Model 207-0209, 303-9352 Mercury Reduction Unit. Tokyo. Japan.
13. Sun, C. T. and W. H. Chang (1972). A survey of mercury residue in fish caught by Taiwan's fishing vessels. *J. Fish Soc. Taiwan*, 1(2): 31-40.
14. 經濟部水資會(1976)，水污染防治及施行細則，p.4。
15. 臺灣省水污染防治所(1978)，水污染影響農業實況調查及水污染區域改善計畫報告，p.103。
16. Nagashima, Y., K. Shioni, H. Yamanaka and T. Kikuchi(1973). Accumulation of mercury by tissues in the short-neck clam *Tapes japonica*. *Bull. of the Japanese Society of Scientific Fisheries*,

49(5): 801-804.

17. Chen, J. C., W. T. Kwang and C. C. Lin (1980). Studies on the accumulation and elimination of mercury in the Crucian Carp (*Carassius carassius*). *J. Fish. Soc. Taiwan*, 7(2): 21-27. (in Chinese).
18. 洪楚璋、郭崇義、羅美蓮及陳敏慧 (1982)，臺灣西岸養殖貝類累積重金屬因子之研究。貝類學報，8：35-86。
19. Turekian, K. K. (1969). *Handbook of Geochemistry*. (editor Modepohl K. H.) 1, Springer Verlag, Berlin.
20. Waldichuk, M. (1976). Some biological concerns in heavy metal pollution in "Pollution and Physiology of Marine Organism" 1: 1-57, Academic Press, New York.
21. 洪楚璋 (1978)，水污染介紹。環境保護，1：125-131。

ABSTRACT

The accumulation and elimination of mercury in the oyster *Crassostrea gigas* were examined. Two groups of oysters were exposed to sea water containing 20 ug/l and 200 ug/l of mercury for 44 days respectively, then removed to mercury free sea water for another 12 days for self-depuration of accumulated mercury. The mercury contents of the edible portion of the oyster were monitored by flameless atomic absorption spectrophotometry throughout the experiment. Those oysters exposed to high concentration uptook more mercury than did those exposed to low concentration but the rate of subsequent elimination was found to be on the contrast. The lower mercury concentration was in the ambient water, the higher concentration factor was found in the oyster in the first 24 days. Both groups were found to have the highest concentration factor on the 44 th day. The mercury accumulation behavior of the oyster was proved to be very strong and the fact may raise to several hundred if the waters are seriously polluted. The FDA of U.S.A. suggested that fish meat containing more than 0.5 ug/g are not to be consumed. However, if the oysters are exposed in clean sea water for a period, the mercury content may be decreased to an acceptable level.