林世榮，丁雲源
台灣省水產試驗所 台南分所
(1996 年 6 月 15 日接受)

Journal of TFRI TAIWAN 1993 Fisheries Research

九孔飼餵含銅之龍鬚菜的蓄積排放研究

摘 要

本報告在探討當龍鬚菜累積銅時，取之投餵九孔，其對九孔體內之蓄積與排出情形。培育龍鬚菜之銅濃度分別爲 0.05 、 0.10 、 0.20 、 0.30 與 0.40 mg/*l* 組以及對照組等共六組。九孔飼餵含銅之龍鬚菜的吸收含量試驗共 80 天，而九孔對銅之釋放試驗共 60 天。經試驗結果得悉龍鬚菜對銅之吸收含量隨添加濃度與時間之增加而升高。九孔飼餵培育在銅濃度 0.1 mg/*l* 以下之龍鬚菜其對銅之吸收含量不隨時間增加而持續上升，但是 0.2 mg/*l* 以上各組則明顯增加。九孔飼餵含銅之龍鬚菜，不隨龍鬚菜累積銅量之增多而持續升高，其動態平衡點在銅濃度 0.4 mg/*l* ，吸收時間 60 天。九孔內臟對銅之吸收累積量比腹足部多。九孔經再投餵未處理龍鬚菜 60 天後，其對銅之釋放量與時間有顯著相關性，隨時間增長，保有率愈少。

關鍵詞：九孔，龍鬚菜，銅，蓄積

自九孔陸上養殖技術建立後[1-3]，在本省西南與東北部對九孔陸上養殖漸爲盛行，產量大增。九孔的主要餌料是龍鬚菜[4]，一般都利用河川口的半淡鹹水養殖，然而，近年來工業發達，廢水未經處理，大量排放至河川、沿海，導致養殖用水與貝類遭受到嚴重污染[5-7]。而且，在水污染影響漁產品品質調查中，累積銅鋅含量較多之綠牡蠣，除二仁溪外，在鹽水溪、鹿港天功、三條崙與安平等地皆有發現[8]。

九孔是海鮮佳餚，價格好，目前是台灣重要貝類養殖之種類，對水質污染相當敏感，由於九孔之主要餌料龍鬚菜，近來被用於循環水養殖，尤其在草蝦池與龍鬚菜池用水之循環上，被認爲有淨化水質的功能[9-10]。因此，當九孔攝食含有重金屬蓄積之龍鬚菜時，其體內是否會因食物鏈之關係而累積重金屬，造成重大衛生問題，爲眾人所關注。林與丁[11]提出，銅在龍鬚菜之蓄積量隨添加濃度之增加而升高並且與吸收時間有顯著相關性，較高濃度組 (0.5-2.5 mg/*l*)，短時間可達蓄積高峰，在低濃度組 (0.1-0.5 mg/*l*)，雖累積較慢但亦隨時間增長，累積量隨者顯著增加。所以，本研究目的旨在探討當銅在龍鬚菜累積時，用來飼餵九孔，在其體內之蓄積與排出情形，以供整治污染及今後發展斯業之參考。

材料與方法

以重金屬化合物CuSO4，配製成 1,000 mg/*l* 之原液，再稀釋成各試驗組，共配製成 0.05、0.10、0.20、0.30 與 0.40 mg/*l* 等 5 個處理組及對照組，在蓄積培養中，依比例填加營養鹽 (KNO_3 、 $Na_2HPO_4.12H_2O$、Na_2SiO_3、$FeCl_2$)，並加以打氣， 在每個 130 *l* 水槽內放養 3000 g 之龍鬚菜，每隔 2 天換試液一次，共培育 80 天，每 20 天採樣一次。

另外同時進行九孔對銅吸收累積養殖試驗，在 130 升水槽內放養 50 粒九孔，水量100 *l*，平均殼長 3.6 ±0.2 cm，體重 5.2±0.8 g，水槽底部放二片弧形塑膠片，供九孔遮敝用，以清靜海水飼養，採流水式，雙重覆，試驗中加以充分打氣；每日各別投飼浸漬在上述銅溶液之龍鬚菜，每天投餌量約 0.3 g/粒，共飼養 80 天，每 20 天採樣一次，每次各採四粒九孔以及 龍鬚菜各 5 g，取樣後，量殼長稱重並即刻放入 -20℃ 冷凍箱保存，供銅之吸收累積分析。

在九孔對銅吸收累積試驗 80 天結束後，繼續以未處理龍鬚菜飼養 60 天，每 15 天採樣一次，每次各

林世榮, 丁雲源 (1996) 九孔飼餵含銅之龍鬚菜的蓄積排放研究. 水產研究, 4(**1**): 77-84.

採四粒九孔以及龍鬚菜 5 g，取樣後，量殼長稱重並即刻放入 -20℃ 冷凍箱保存，供銅之釋放分析。

樣品重金屬分析，龍鬚菜與九孔之樣品先以蒸餾水洗淨，並經切割處理稱重，九孔又分爲內臟與腹足二部份分析，樣品各別放置 50 m*l* 燒杯內，加入 5 m*l* 濃硝酸與 1.5 m*l* 30% 過氧化氫，置放電熱板上，在 60℃下進行濕式消化，至溶液呈澄清之橘黃色剛乾爲止，而後以1%硝酸定溶至 20 m*l*，再以 Whatman GF/C 濾紙過濾不溶的殘渣後，以火燄式之偏極化芮曼原子吸收光譜儀（Hitachi Z-8100 Polarized Zeeman AAS）測定重金屬之含量,並以 μg/g 表示[12-13]。

本試驗各處理結果，先以單因子變方分析 (one factor ANOVA) 檢定，平均值差異則採 Tukey 多重比較 (Tukey multiple comparison test)[14]，顯著水準爲 95%。並計算各處理組在試驗結束之銅在九孔之保有率 (試驗終了之含銅量X100/試驗前之含銅量)。

結 果

一、*銅在龍鬚菜之蓄積培育*

銅在龍鬚菜之蓄積培育期間，水溫介於 15.6-22.1 ℃，鹽度在 28.7-34.9 g/*l* 之間，pH 值 8.3-9.1，溶氧在 6.2-9.3 mg/*l* 之間。銅在龍鬚菜之吸收含量，經分析結果如 Fig. 1所示，銅在龍鬚菜之含量，對照組介於 1.18-1.92 μg/g 之間，各處理組在第 20 天，較高濃度組則有明顯增加，濃度 0.3 與 0.4 mg/*l* 組分別爲 32.79 與 63.13 μg/g，自第 40 天至 80 天隨者濃度增加，含銅量依序的增多，以 0.4 mg/*l* 組維持最高量，在第 80 天高達 351.03 μg/g。自第 20 至 80 天在各處理組間皆有顯著差異 ($p<0.05$)。

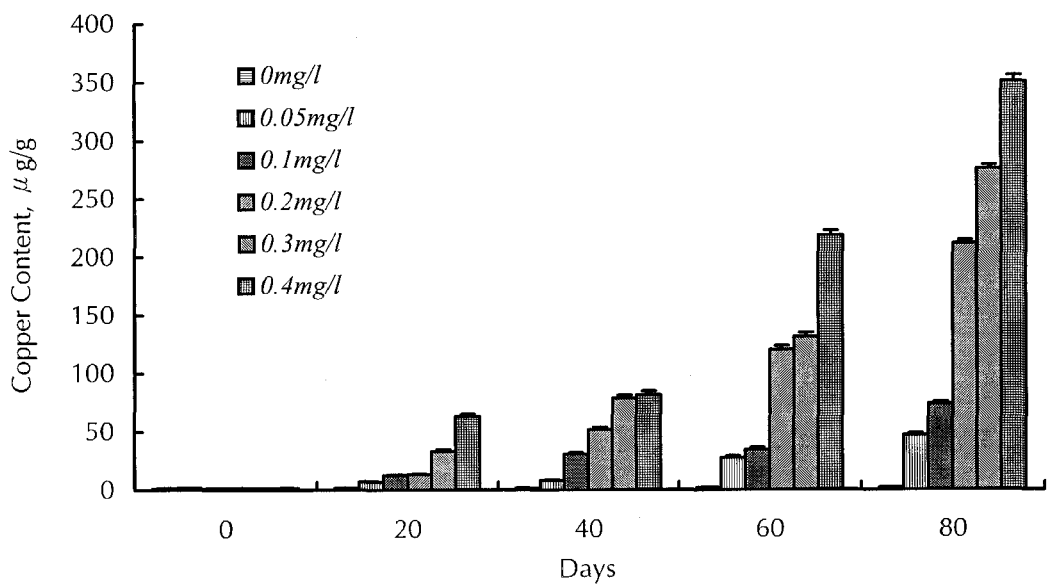

Fig. 1. Copper contents of *Gracilaria* exposed to various concentrarions of copper solution.

二、*九孔飼餵含銅之龍鬚菜的吸收含量*

本試驗進行期間之水溫介於 14-20 ℃，鹽度在 34-37 g/*l* 之間，pH 值 7.9-8.5，溶氧在 6.8-8.0 mg/*l* 之間。九孔內臟對銅離子之吸收含量，經每 20 天採樣分析結果如 Fig. 2 所示。由 Fig. 2 顯示銅在九孔內臟之吸收含量，隨培育期間與濃度的增加愈多。以 0.4 mg/*l* 組在 60 天之含銅量最高達 53.56 μg/g，在 80 天稍爲下降但仍維持各試驗組之最高含量。而 0.2 與 0.3 mg/*l* 組到第 80 天時，其含銅量已接近 0.4 mg/*l* 組，分別爲 47.17 與 49.85 μ g/g，這表示 0.2 mg/*l* 組在飼育時間愈長亦可達到 0.4 mg/*l* 組之含量，但在

0.1 mg/*l* 組以下到第 80 天則不超過 25 μg/g 。以變方分析結果發現，各試驗組間有顯著差異性 (P<0.05)，隨銅濃度增加，含銅量愈多；再以 Tukey 多重比較方法，測驗試項平均之差異，結果在 20 天時， 0.3 mg/*l* 組與對照組比較有顯著增加，其他尚無顯著差異。在第 40 天則 0.2 mg/*l* 組以上各組與對照組比較有顯著增加，而且 0.3 及 0.4 mg/*l* 組亦與 0.5 mg/*l* 組有顯著差異。在 60 天濃度 0.3 mg/*l* 及 0.4 mg/*l* 組與 0.2 mg/*l* 以下各組比較有顯著增加，而 0.2 mg/*l* 亦與 0.05 mg/*l* 及對照組有顯著差異 (P<0.05)。到第 80 天 0.2 mg/*l* 以上各組皆與 0.1 mg/*l* 以下各組有顯著不同。在九孔腹足之吸收含銅量如 Fig. 3 所示。在對照組含銅量範圍在 4.1-7.2 μg/g 之間；而處理組在第 80 天，濃度 0.3 與 0.4mg/*l* 組之腹足含銅量達最高量分別爲 19.30 與 23.81 μg/g ，經變方分析結果，除對照組外，其他各處理組皆有顯著增加 (P<0.05)，再以 Tukey 多重比較方法，測驗試項平均之差異性，結果在 20 天時，濃度 0.4 mg/*l* 組與 0.2 mg/*l* 以下各組及對照組有顯著差異，而濃度 0.3 mg/*l* 組亦與對照組有顯著不同。第 40 天時，除 0.4 mg/*l* 組與對照組有差異外，其他組間則無差異性。第 60 天 0.4 mg/*l* 組與 0.3 mg/*l* 以下各組有顯著增加，而 0.3 mg/*l* 組亦與 0.1 mg/*l* 以下各組有顯著不同。在 80 天各試項平均差異，在濃度 0.4 mg/*l* 組與 0.2 mg/*l* 以下各組及對照組有顯著差異，而 0.3 mg/*l* 組與 0.1 mg/*l* 以下各組有顯著不同，濃度 0.2 mg/*l* 組亦與對照組有顯著增加。

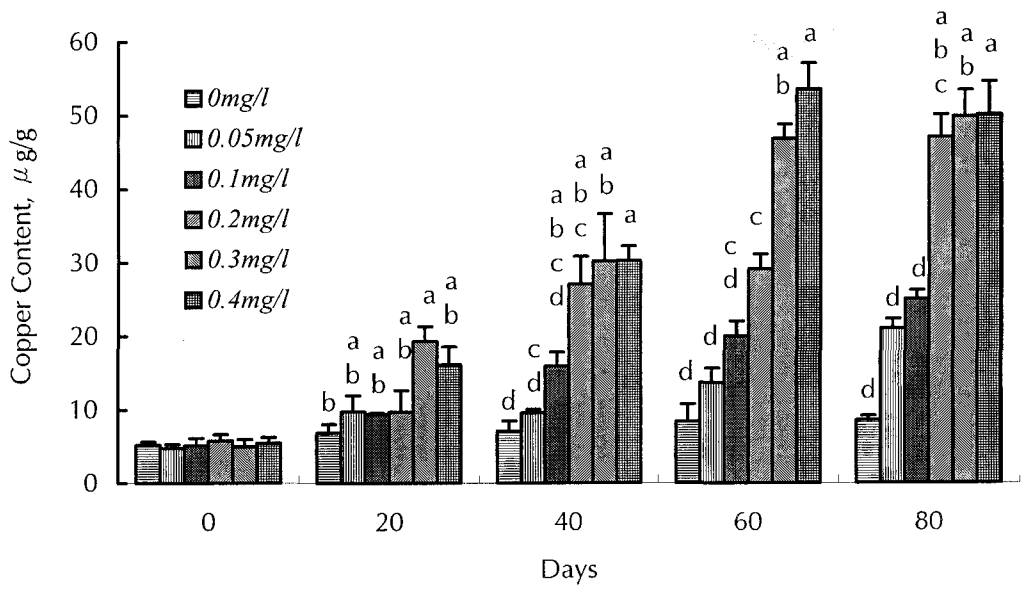

Fig. 2. The copper contents in viscera of abalone fed with *Gracilaria* exposed to six concentrations of copper

三、*九孔對銅之釋放試驗*

九孔對銅吸收累積試驗 80 天結束後，接著以未處理龍鬚菜飼養，試驗期間水溫介於 16-22.5℃ ，鹽度在 31-35 g/*l* 之間，pH 值 7.8-8.7，溶氧在 6.5-7.8 mg/*l* 之間。九孔內臟對銅之排出量，分析結果如Fig. 4 所示，在飼餵 30 天時則排出將近一半，飼餵 60 天後，對照組與各處理組之含銅量分別爲 7.83、7.95、8.29、10.43、12.46 與 17.03 μg/g，其中 0.05 與 0.1 mg/*l* 組已接近對照組之含量。經變方分析結果，各期之試驗組皆有顯著差異 (P<0.05)；再以 Tukey 多重比較方法，測驗試項平均之差異性，結果在 15 天濃度 0.4 mg/*l* 組與 0.3 mg/*l* 以下各組及對照組有顯著差異。濃度 0.3 mg/*l* 組及 0.2 mg/*l* 組

亦與對照組有差異，其他則接近對照組之含銅量，無顯著差異性。第 30 天時，濃度 0.4 mg/*l* 組與 0.3 mg/*l* 以下各組及對照組尚有顯著差異。到 45 天濃度 0.4 mg/*l* 組與 0.3 mg/*l* 以下各組及對照組有顯著差異，而 0.2 mg/*l* 以下各組已接近對照組皆無顯著不同。到第 60 天除 0.4 mg/*l* 組尚與對照組有差異外，0.3 mg/*l* 以下各組與對照組則無顯著不同，這表示對銅之排出量已恢復到對照組含量。

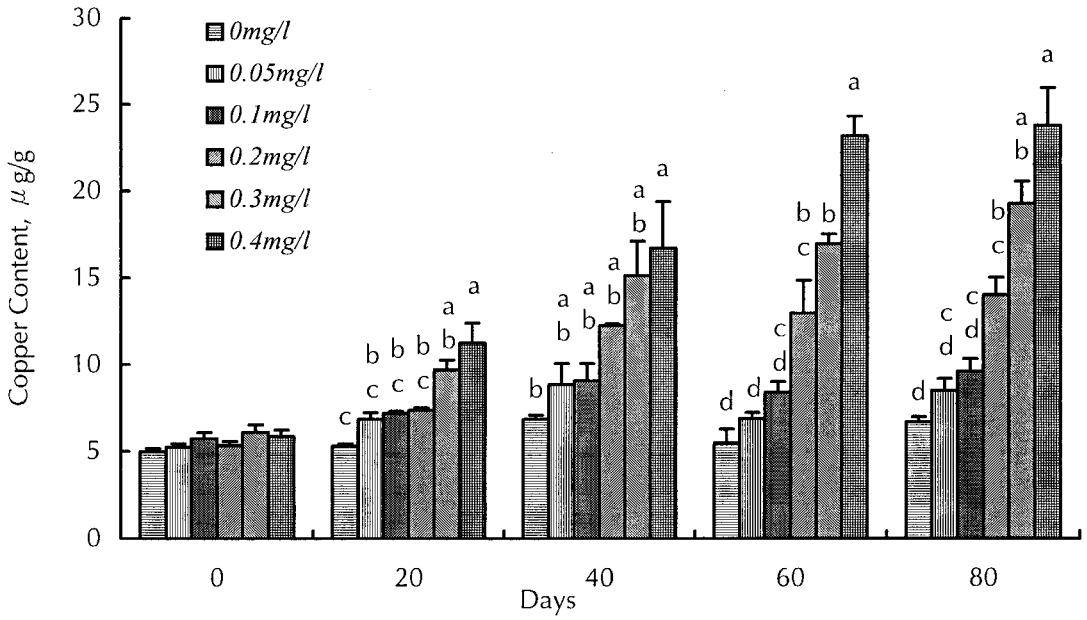

Fig. 3. The copper contents in pedal soles of abalone fed with *Gracilaria* exposed to six concentrations of copper.

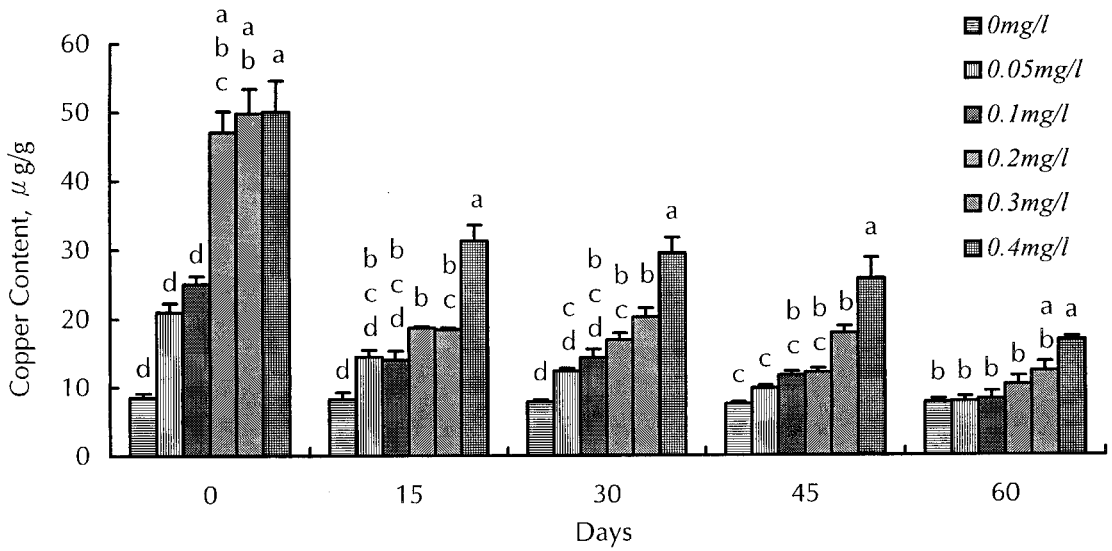

Fig. 4. After 80 days feeding with different concentrations of copper contained *Gracilaria*, the remainder contents of copper in viscera of abalone during a 60-day feeding period with copper-free *Gracilaria*.

在九孔腹足對銅之排出量，分析結果如 Fig. 5 所示，在飼餵未處理龍鬚菜 60 天後，對照組與各處理組之含銅量，分別爲 7.25、7.27、7.32、7.39、7.43 與 11.57 μg/g，除 0.4 mg/*l* 組外，其他各處理組之排出量幾乎已恢復到對照組之量。經變方分析結果，各期之處理組間皆有顯著差異 ($P<0.05$)；以Tukey 多重比較方法，測驗試項平均之差異性，結果在 15 天時，除0.4 mg/*l* 組與 0.3 mg/*l* 以下各組及對照組有差異外，其他各處理組與對照組無差異。到第 30 天時，0.4 及 0.3 mg/*l* 組與對照組尚有不同外，其他已無顯著不同。在 45 與 60 天分析結果，除 0.4 mg/*l* 組與各處理組及對照組有差異外，0.3 mg/*l* 以下各組與對照組皆無顯著不同，既排出量已恢復到對照組之含銅量。九孔經飼餵未處理龍鬚菜 60 天後，計算其保有率，如 Fig. 6 所示，在九孔內臟之保有率各處理組(0.05-0.4 mg/*l*) 依序爲 37.9、33.1、22.2、25.0 與 34.0%；而腹足之保有率分別爲 85.7、76.3、60.4、38.5 與 48.6% 。

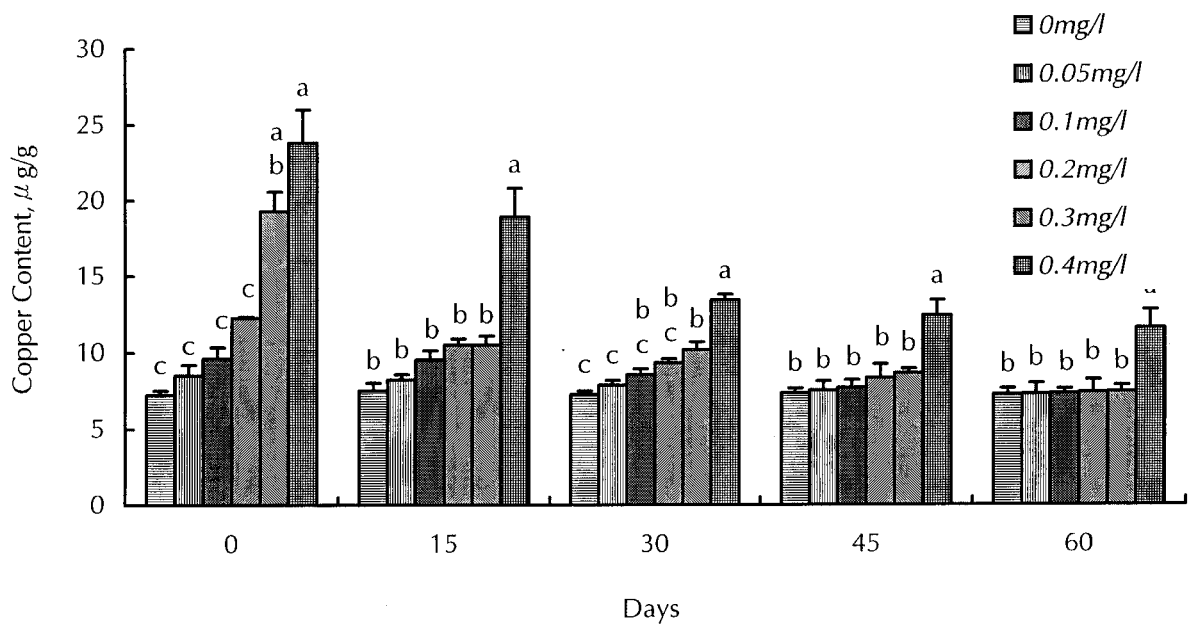

Fig. 5. After 80 days feeding with different concentrations of copper contained *Gracilaria*, the remainder contents of copper in pedal sole of abalone during a 60-day feeding period with copper-free *Gracilaria*.

討 論

重金屬之毒性會因食物鏈之生物濃縮而增強，一般海洋中藻類及水產生物對重金屬具有很強之蓄積能力，由銅的累積會引起生物，組織變異與肝重比變化[15-17]。海洋生物對銅之濃縮係數依序爲植物性浮游生物、動物性浮游生物、軟體動物、貝類、魚類[18]；故生物體內累積毒物量之多寡依種類、生物大小、年齡、生長發育情況及毒物特性而定。

一般毒物經各種管道進入生物體後，會被轉化，蓄積與排出，不同種類和不同環境下，這些過程則有很大差別。 毒物所以會在生物體內蓄積，是由於毒物對脂肪有較高的親和力而容易溶於脂肪中，或是與酵素、蛋白質結合，而殘留於機體中。既使環境中毒物濃度較低，而隨著時間的延長，生物體將以直接吸收或從食物鏈上吸收，而產生濃縮現象，在濃縮過程中，生物本身亦藉者代謝功能，將其體內毒物進行生物轉化、蓄積體內或排出體外，當環境濃度和生物體吸收方式不變時，體內毒物將隨時間的推移，累積量逐漸增多，直到與環境間達到動態平衡[19-23]。 九孔對海水中之重金屬忍受度，以銅汞毒性較強，其次爲鋅鎘，對銅之安全濃度在 0.05

mg/*l*[24]。本次在龍鬚菜蓄積培育中，共配製成 0.05、0.1、0.2、0.3 與 0.4 mg/*l* 等五個處理組，其對重金屬銅之累積量皆比對照組多，且隨濃度與時間增加而上升，當九孔投餵這些含有銅蓄積之龍鬚菜後，發現有隨濃度增加而上升之趨勢，這與生田[23]報告指出，牡蠣攝食之餌料所含銅量與軟體部對銅之蓄積量成正比關係相似。由各處理組與對照組比較得知，九孔之內臟與腹足對銅之吸收含量隨飼餵浸漬在銅溶液之龍鬚菜的濃度與時間成正比。銅在濃鬚菜之累積含量，各處理組自 20 天起則有明顯增加，而且在 0.2-0.4 mg/*l* 組自 40 到 80 天持續增加，而九孔內臟因食物鏈之吸收濃縮，在 0.4 mg/*l* 組第 60 天達高峰後則稍微下降，不隨龍鬚菜含銅量的增多而持續升高，由此似乎可知銅在內臟動態平衡點大約在 53 μg/g。在腹足部份雖持續升高，到 80 天高濃度組之含銅量則漸趨緩慢增加，其動態平衡大約在 23 μg/g 上下移動。九孔經飼餵蓄積銅離子之濃鬚菜後，發現內臟對銅之吸收含量比腹足部多，在第 80 天時內臟與腹足之比，對照組爲 1.2 倍，而在 0.05、0.1、0.2、0.3 與 0.4mg/*l* 等各處理組分別爲 2.5、2.2、3.8、2.6 與 2.1 倍，這與陳等[8]指出，豆仔魚、吳郭魚與牡蠣等之內臟較易累積重金屬，鰓次之，肌肉最差相似，以及陳等[25]提出汞在鯽魚與袁[26]指出銅對烏魚之蓄積，內臟較肌肉容易累積相同。

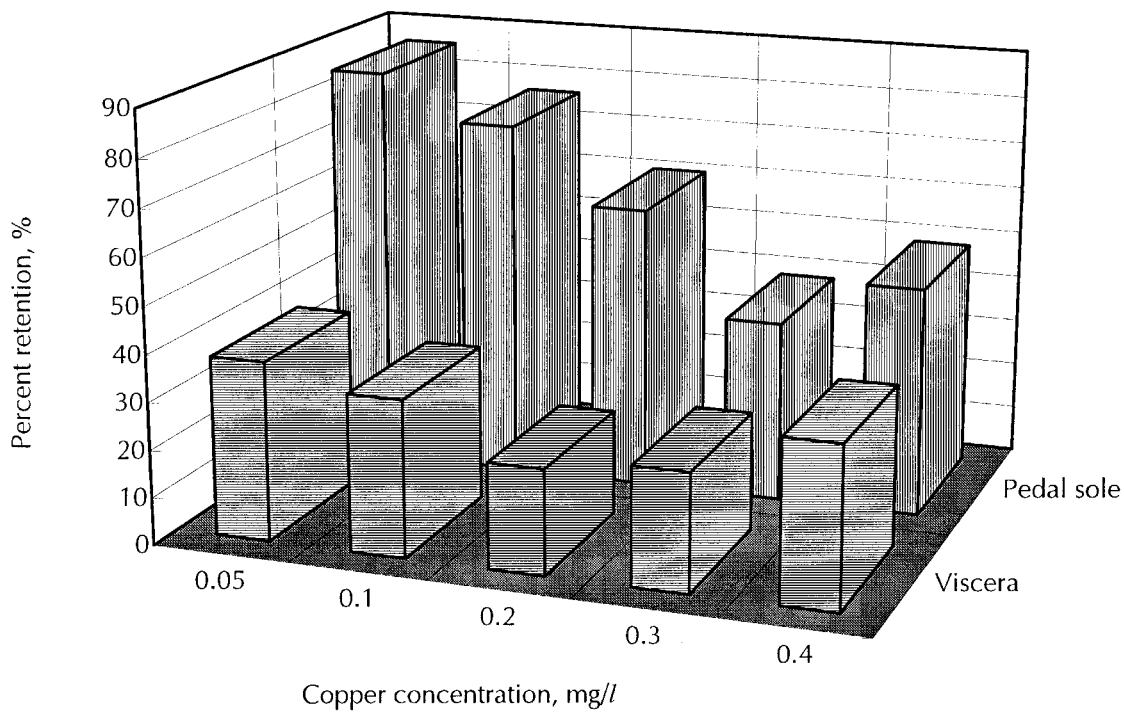

Fig. 6. A comparison of percent retentions of copper in viscera and pedal soles of abalone after the 80-day feeding experiment of *Gracilaria* exposed to five concentrations of copper and then the 60-day post-feeding period free *Gracilaria*.

當生物體離開毒物環境或環境內毒物濃度明顯下降時，則早先被生物體蓄積之毒物會被生物體以新陳代謝方式排出體外，轉化成其它無害物質，體內毒物累積量會明顯降低或完全釋放出來。由這次試驗，九孔經再飼餵未處理龍鬚菜 60 天後，其內臟與腹足對銅之釋放量與時間有顯著相關性外，且隨者時間增長保有率愈少，既排出量愈多；而且在同一時間下，各處理組中，內臟比腹足之保有率較少，這說明內臟蓄

積量雖比腹足多，同樣釋放量亦比腹足多；九孔內臟對銅之釋放量，在飼餵 30 天時，各處理組與對照組比較，則釋放將近一半，飼餵 60 天後 0.05 與 0.1 mg/*l* 組釋放量已接近對照組。而腹足對銅之釋放量，在飼餵 60 天後，除 0.4 mg/*l* 組外，其他各處理組之釋放量皆恢復到對照組之量。

謝 辭

本研究承台灣省水產試驗所台南分所邱英哲先生之鼎力協助，得以完成，特此致謝。

參考文獻

1. 楊鴻禧, 丁雲源 (1986) 九孔繁殖與養殖試驗. 台灣省水產試驗所試驗報告, **40:** 195-120.
2. 楊鴻禧, 丁雲源 (1989) 九孔陸上養殖池生產力之研究. 台灣省水產試驗所試驗報告, **46:** 215-223 。
3. 楊鴻禧, 丁雲源 (1990) 九孔陸上立體式之養殖. 台灣省水產試驗所試驗報告, **48:** 211-215.
4. 黃貴民 (1992) 不同餌料與放養密度對九孔成長的影響. 中國水產, **470:** 27-34.
5. 洪楚璋 (1988) 台灣西部養殖區水質監測與生物體重金屬含量調查研究. 環境保護署, 環保專案研究叢書, **4:** 4-6.
6. 楊鴻禧, 丁雲源 (1988) 牡蠣對於銅離子蓄積作用之研究。環保署研究叢書, **5:** 1-25 。
7. Han, B. C. and T. C. Hung (1990) Green oysters by Copper pollution on the Taiwan coast. Environ. Pollut., **65:** 47-362.
8. 陳弘成, 黃建發, 黃玉霜 (1992) 水產物體內重金屬含量之研究. 漁業環境保護專集 (六), COA Fish. Ser., **34:** 78-97.
9. 侯英物 (1992) 簡易循環水養殖與節約用水. 漁業推廣, 漁業局, **65:** 47-51.
10. 丁雲源, 郭世榮, 石聖龍 (1992) 循環式養蝦實例示範手冊. 農委會漁業特刊, **36:** 30-38.
11. 林世榮, 丁雲源 (1996) 銅在龍鬚菜之蓄積作用研究. 台灣省水產試驗所台南分所研究報告, **1:** 55-71.
12. 劉擎華 (1980) 四種重金屬對草蝦的慢性毒性研究. 台灣大學海洋研究所碩士論文, 4-5.
13. 白書禎,龔國慶,陳宏瑜,詹淑媛 (1992) 水污染影響漁產品品質調查. 漁業環境保護專集 (六), COA Fish. Ser., **34:** 100-101.
14 Zar, J. H. (1984) Biostatistical analysis. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, U.S.A, 162-205.
15. Brung, W. A. (1973) Acute and long-term accumulation of copper by the brown buiihead, *Ictalurus nebulosus*. J. Fish. Res. Bd. Can., **30:** 583-586.
16. Segner, H. (1987) Response of fed and starved roach, *Rutilrs rutilus*, to sublethal opper concentration. J. Fish. Biol., **30:** 423-437.
17. Collvin, L. (1984) Uptaken of copper in the gills and toxicity of metals. Life Sci., **23:** 1-10.
18. 山本義和 (1979) 水生生物と重金屬 (1) 銅. サイエンティスト, 30-37.
19. Bryan, G. W. (1968) Concentration of zinc and copper in the tissue of *Deoapod crustaceans*. J. Mar. Biol. Assoc. U. K., **48:** 303-321.
20. Brayan, G. W. (1971) The effect of heavy metals (other than mercury) on marine and estuarine animals. Proc. R. Soc. (Ser. B) **177:** 389-410.
21. Brayan, G. W. (1973) The occurence and seasonal variation of trace metals in the scallops *Pecten maximus* (L.) and *Chlamys opercularis* (L.). J. Mar. Biol. Assoc. U. K., **53:** 145-166.
22. 生田國雄 (1968) 水棲生物と重金屬蓄積に關する研究-II.カキの銅. 亞鉛蓄積について. 日本水產學會誌, **34:** 112-116.
23. 生田國雄 (1972)ミドリガキ關する研究. 宮崎大學農學部研究報告, **19:** 1-116.
24. 楊鴻禧, 丁雲源 (1990) 九孔陸上養殖法專輯. 台灣省水產試驗所台南分所, 21-23.
25. 陳建初, 曠萬青, 林家存 (1980) 汞在鯽魚 (*Carassius carassius*) 體內之蓄積與排出. 台灣水產學會刊, **7**(2): 21-27.
26. 袁又罡 (1990) 銅對烏魚 (*Mugil cephalus* Linnaeus) 之急慢性毒性的影響. 台灣大學動物學研究所碩士論文, 21-22.

Shih-Jung Lin and Yun-Yuan Ting
Tainan Branch, Taiwan Fisheries Research Institute, 4 Haipu, Chicu 724, Taiwan.
(Accepted 15 June 1996)

Journal of TFRI TAIWAN 1993 Fisheries Research

Copper accumulation and elimination in small abalone *Haliotis diversicolor supertexta* fed with copper contaminated sea weed *Gracilaria verrucosa*

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the copper accumulation and elimination of *Haliotis diversicolor supertexta* fed with copper contaminated sea weed *Gracilaria verrucosa*. The sea weed was cultured in the copper solution at 0, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30 and 0.40 mg/*l*. The amounts of copper accumulated in *Gracilaria* increased proportionaly with concentration and time. At the concentrations of 0.2mg/*l* and above the amounts of accumulation of copper in the abalone increased proportionaly with time, but it was not so at the concentrations at and under 0.1mg/*l*. The abalone fed with *Gracilaria* containing copper, the accumulation didn't increase with copper concentration in *Gracilaria*. The equilibrium of copper contents was at 0.4mg/*l* for the period of 60 days. The amounts of accumulation of copper in viscera were higher than feet in the abalone. After the 80 days feeding experiment with copper contaminated *Gracilaria*, the abalone then fed with copper free *Gracilaria* for 60 days, copper concentration decreased with time.

Key words: *Haliotis diversicolor supertexta, Gracilaria verrucosa,* Copper, Accumulation

Lin, S. J., and Y. Y. Ting (1996) Copper accumulation and elimination in small abalone *Haliotis diversicolor supertexta* fed with copper contaminated sea weed *Gracilaria verrucosa*. J. Taiwan Fish. Res., **4**(1): 77-84.