

銅、鎘在鯉魚體內之蓄積、釋放試驗

林天生·湯弘吉

Accumulation and Elimination of Copper and Cadmium in common carp

Tain-Sheng Lin and Hung-Chi Tang

Waste water contaminated with heavy metals is harmful to aquatic animals. While higher concentrations will cause animals to die, lower concentrations will make use of food chain to accumulate in the fish. Subsequently, this will reduce the quality of fish. More over, human consumers are threatened by heavy metals.

The rapid toxic doses of the accumulation Cu, Cd ion to carp were measured first in the laboratory. Based on this data, we assaied some kinds of low concentrations of heavy metal solutions to culture Common carp. Then the concentration levels that accumulated and were measured eliminated from muscle and the internal organs of the fish bodies.

In long-period as well as short-period test, the highest of amount Cu ion accumulated in the liver, followed by intestine, gill and flesh. In the short-period test, the highest Cd ion accumulated in the intestine, then liver, gill and flesh.

In the long-period test, the highest Cd ion accumulated in the liver, then intestine, gill and flesh.

Key words: Accumulation, Elimination, Copper, Cadmium, Common carp.

前 言

近年來，由於工業迅速發展，工廠如雨後春筍般到處林立，所排放的廢水、廢酸大量流入河川、海域，導致魚蝦貝類遭受嚴重的重金屬污染，含重金屬的產業廢水對水中生物具有很大傷害作用，濃度過高時易引起生物的急速死亡，濃度較低時雖不致立即產生毒害作用，但常藉由食物鏈蓄積於魚體內，如二仁溪之綠牡蠣，鱒魚。重金屬在生物體內的殘留是經過長期累積所形成的，因此本項試驗乃針對銅、鎘在鯉魚體內之蓄積、釋放加以探討，做為改善養殖魚蝦貝類品質及衛生的基礎。

材料與方法

一、試驗所使用的銅、鎘各以 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 配成 1000 ppm 之水溶液，做為母溶液 (stock solution)。

二、本試驗首先選用體長 4.5~5.5cm，體重 1.56~1.94g 之鯉魚，以塑膠試驗槽 (1.8噸) 蓄養，充分投餵，於試驗前一天停止給餌，選取活力正常的魚進行試驗。首先求得其約略之全數死亡及全數存活之上下限濃度，再依一定比例配成五種濃度，以 20 公升玻璃試驗槽，水量 10 公升，魚苗 10 尾進行中間忍受限度 (TLm) 之測試，試驗期間充分打氣，分別記錄 24 小時、48 小時、96 小時死亡尾數，依 TLm 直線圖解法求其 24 小時、48 小時、96 小時之 TLm 值。

三、依據銅及鎘對鯉魚之 TLm96 及台灣省工廠、礦場放流水標準，設計各種低濃度的溶液，分別進行短期及長期試驗。

1. 試驗用鯉魚體長 10.8~11.6 公分，體重 23.1~34.0 公克。

2. 短期試驗濃度分別各取銅之放流水標準濃度及鎘之 TLm96 濃度之 $1/10$ 、 $1/50$ 、 $1/100$ 、 $1/200$ 四種，試驗期間每兩天換水一次，換水後再加入試藥，保持原先設定的濃度，每隔一星期採樣一次，共六星期。

3. 長期試驗濃度分別各取銅之放流標準濃度及鎘之 TLm96 濃度之 $1/250$ 、 $1/500$ 、 $1/750$ 、 $1/1000$ 四種，試驗期間亦每兩天換水一次，換水後再加入試藥，保持原先設定的濃度，每隔兩星期採樣一次，共 12 星期。

四、銅離子蓄積後釋放試驗：鯉魚經短期蓄養六星期後，改換成清水蓄養不再添加銅離子，每隔一星期採樣一次，進行瞭解其肌肉及內臟組織內銅離子釋放情形。

五、銅及鎘在肌肉及內臟組織內蓄積量測定，採用 PERKIN-ELMER 2380 型原子吸收光譜儀分析。將試料 (鰓、腸、肝、肌肉) 以 80°C 溫度烘乾 24 小時後稱重，裝入消化試管並加 4 CC 硝酸，以高溫加熱消化分解至管內液體轉為清澈透明為止，經冷卻後以蒸餾水定溶至 50CC，再上機進行測試。

表 1 銅和鎘對鯉魚之毒性

Table 1 The toxicity of Copper and Cadmium to common carp.

離子種類	死亡濃度	時間		
		24小時	48小時	96小時
銅	0.5 ppm	0	0	0
	1.0 ppm	0	0	1
	1.5 ppm	2	7	7
	2.0 ppm	4	7	7
	2.5 ppm	5	9	10
鎘	15 ppm	0	0	0
	20 ppm	0	2	2
	25 ppm	1	2	3
	30 ppm	2	3	5
	35 ppm	6	8	10

結 果

本次試驗選用 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 及 $\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 分別進行對鯉魚 24、48、96 小時之 TLm，試驗水溫 24.2~26.5°C，硬度 210ppm (CaCO_3)，PH 值 7.4~8.5。其結果如表一，銅離子濃度 2.5ppm，96 小時鯉魚全部死亡，顯示極強的毒性，其對鯉魚 24、48、96 小時之 TLm 分別為 2.5ppm、1.357ppm、1.333ppm。鎘離子濃度 35ppm，96 小時後鯉魚亦全部死亡，毒性較銅為小，但亦顯示很強的毒性，其對鯉魚 24、48、96 小時之 TLm 分別為 34ppm、32ppm、30ppm。

依據陳 (1.4) 台灣省工廠、礦場放流水標準銅為 3 ppm，鎘為 0.1ppm。蔡(6)銅對吳郭魚之 TLm96 為 10.6471ppm；鎘對吳郭魚之 TLm72 為 38.5711ppm。黃(5)銅對美洲鱸之 TLm48 為 21.03 ppm；鎘對美洲鱸之 TLm48 為 52.4ppm，與本試驗相比較結果，在短期與長期蓄積試驗中，分別各取銅放流水標準之 $1/10$ 、 $1/50$ 、 $1/100$ 、 $1/200$ 、及 $1/250$ 、 $1/500$ 、 $1/750$ 、 $1/1000$ ，即其濃度為 150、30、15、75、6、4、2、1.5ppb。

以較高濃度銅離子進行六星期蓄積試驗，飼育六星期間，其肌肉、鰓、腸、肝之蓄積情形如圖一，暴露在四種較高濃度下，其肌肉、鰓、腸蓄積量於一星期達最高，以後則趨於穩定或降低的趨勢(8)。肝蓄積量於第二星期持續增加，顯示蓄積在鰓、腸之銅有自肝移動之可能性。腸、鰓蓄積量持續的減少，肝蓄積量於第三星期才有明顯減少。隨後則因腸、鰓中緩慢的增加，肝蓄積量又持續且急速的升高。四種不同濃度均以肝蓄積量最大，餘依次為腸、鰓、肌肉。肌肉蓄積量最少，顯示銅在肉臟較肌肉更容易蓄積。由試驗時間與各組織蓄積量之關係，銅之濃度愈高，其在各組織中蓄積量也愈大。暴露在 150ppb 濃度中，鰓、肝蓄積量比另外三種濃度之蓄積顯著，而肌肉、腸其不同濃度之蓄積量差異較小。高濃度初期之蓄積較急速，低濃度之蓄積較緩慢。雖然在水中銅離子濃度愈高，體內蓄積量也愈多，但是就濃縮因素 (Concentration factor) 而言，則以水中濃度愈小，濃縮因素愈大(9)。

較低濃度銅離子長期飼養 12 星期，其肌肉、鰓、腸、肝之蓄積情形如圖 2，各組織蓄積量，除第 4、10 星期期有稍降情況外，其餘均隨飼養時間的延續，蓄積量都呈現增加的趨勢。肝之蓄積量最高，第 8、12 星期增達 $455.2^{\text{ug}}/\text{g}$ 及 $480.2^{\text{ug}}/\text{g}$ 。其次為腸、鰓、肌肉，腸之蓄積量第八星期達 $74.9^{\text{ug}}/\text{g}$ ，由試驗結果顯示在極低銅離子濃度中，各組織蓄積量並未與飼育水中銅離子濃度或成正比，經測試飼料中銅離子含量，每公克飼料中含量高達 27.6ug 的銅離子，體內重金屬的蓄積經由食物鏈的累積相當明顯(3)。

高濃度銅離子短期 (6 星期) 蓄積後釋放試驗，其換成清水飼養後體內銅離子釋放情形如圖 3。本次飼養期間水溫比上述短期蓄積試驗來得高，經測試結果發現，飼養六星期後，肌肉、鰓、腸、肝之蓄積量皆比圖一顯示的為高，肝蓄積量最高達 $287.4^{\text{ug}}/\text{g}$ 。飼育水溫升高，鯉魚攝食量增加，相對的各組織中蓄積量也提高。經清水蓄養一星期後，各組織的蓄積量明顯下降，經發現 2 星期後又有增加的趨勢，隨之停止投餵飼料，各組織中蓄積量則逐漸降低，其中排放情形以肝最顯著，依次為鰓、腸、肌肉。由試驗結果顯示，於清水中飼養時，各組織中蓄積的銅，其原來水中濃度高者較原來水中濃度低者於清水中較不易排出。

以較高濃度鎘離子進行短期蓄積試驗，飼育六星期其肌肉、鰓、腸、肝之蓄積情形如圖四。在四種濃度中可發現在肌肉的蓄積量於第二星期達最高，隨後急速降低後再增加的現象。鰓部的蓄積量在整個飼育期間的變化，其累積未與水中濃度成正相關，於 3 ppm、0.6ppm 濃度試驗槽中之鯉魚 2 星期後發現有游泳不平衡現象(7)，經解剖檢查發現鰓部有大量淤血，鰓絲腫大現象。腸的蓄積隨著時間而增加，且水中鎘濃度愈大，其在腸中的鎘蓄積量愈高。4 種組織的蓄積量以腸最高 (達 $410.0^{\text{ug}}/\text{g}$) 且呈緩和持續的增加，其次為肝、鰓、肌肉。

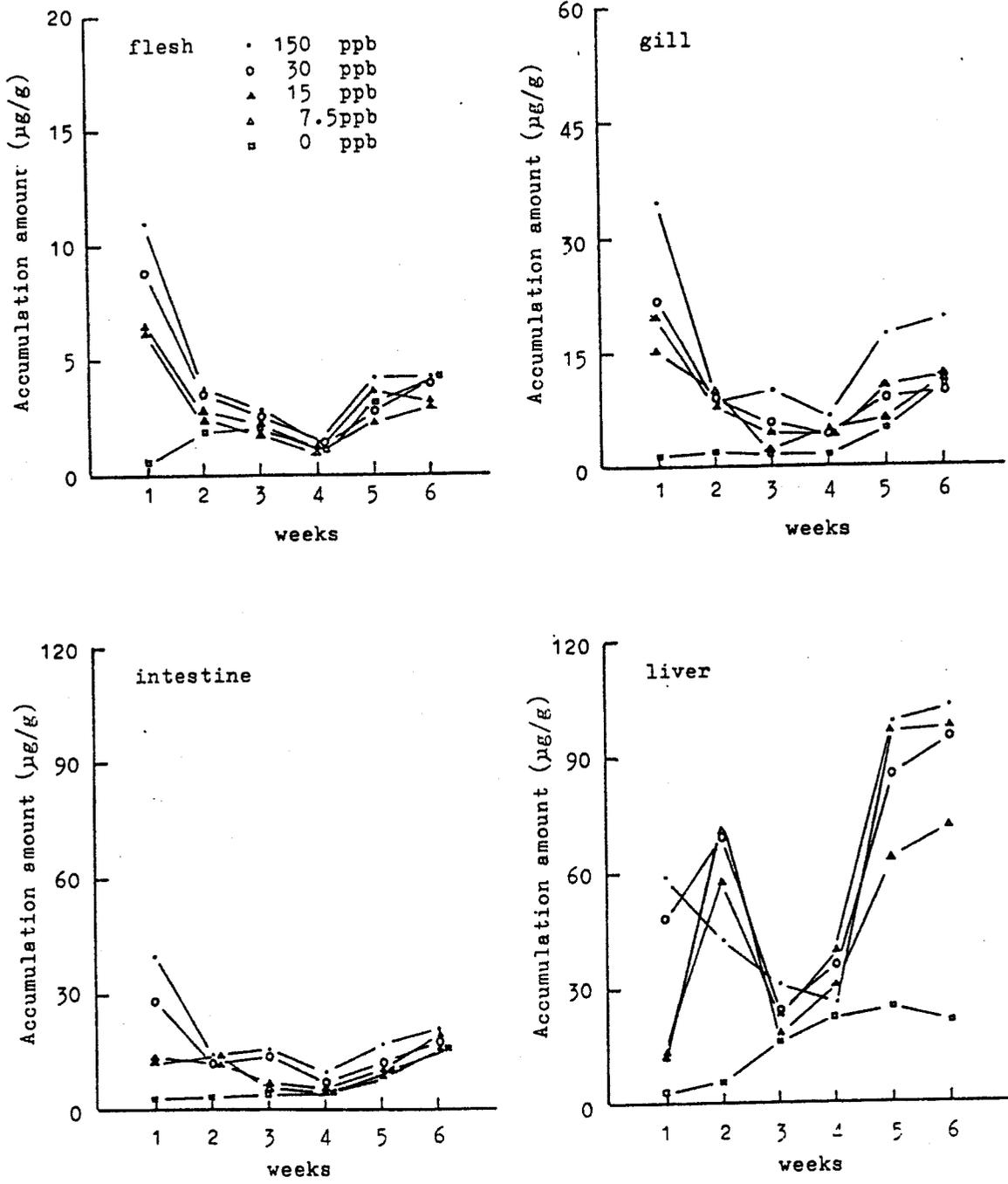


圖1 鯉魚在不同濃度銅離子中飼育六星期，其肌肉、鰓、腸、肝之蓄積量。

Fig.1 Accumulation amount ($\mu\text{g/g}$) of Cu in flesh, gill, intestine and liver of Common carp for six weeks.

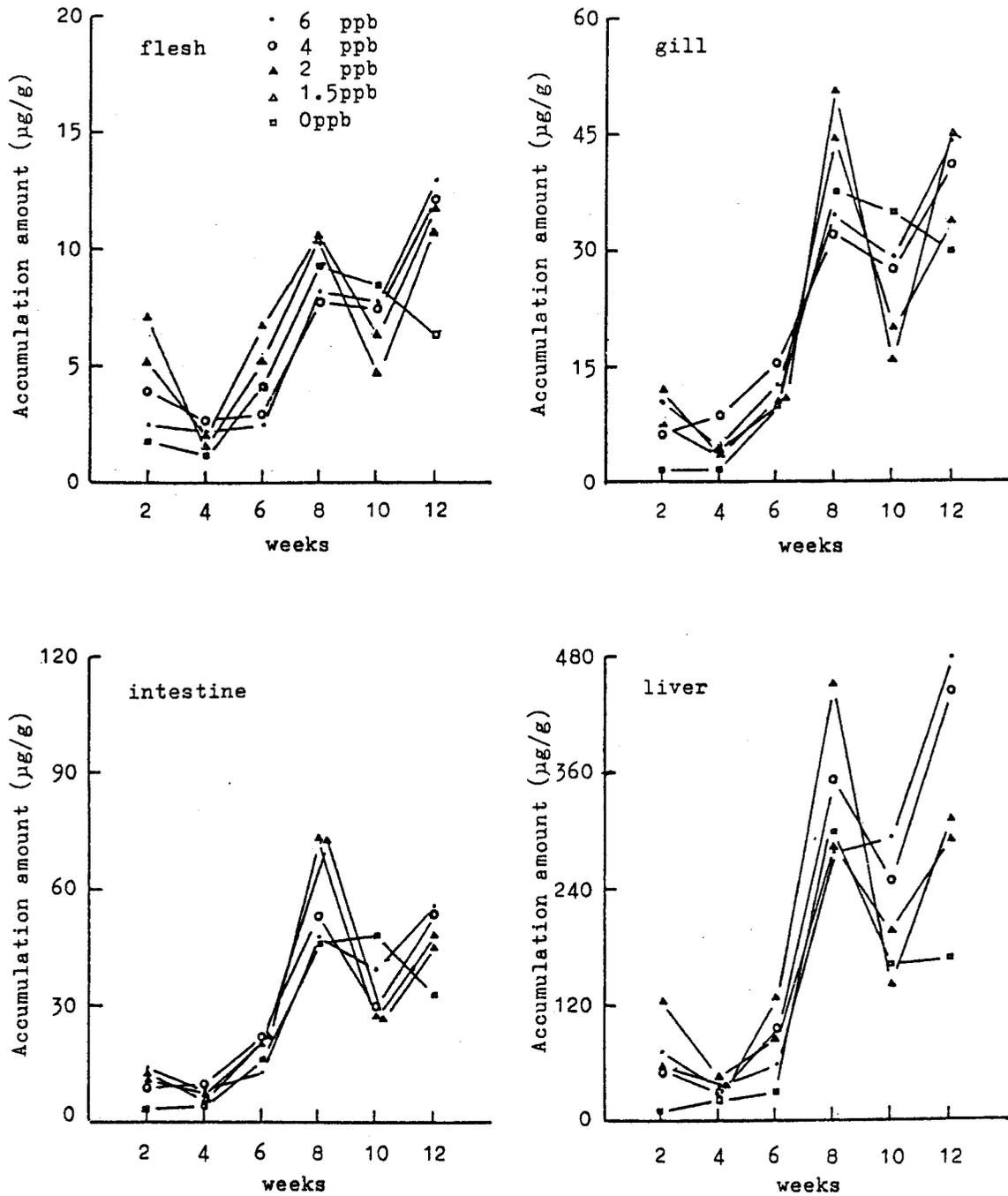


圖 2 鯉魚在不同濃度銅離子中飼育十二星期，其肌肉、鰓、腸、肝之蓄積量。

Fig.2 Accumulation amount $\mu\text{g/g}$, of Cu in flesh, gill, intestine and liver of Common carp for twelve weeks.

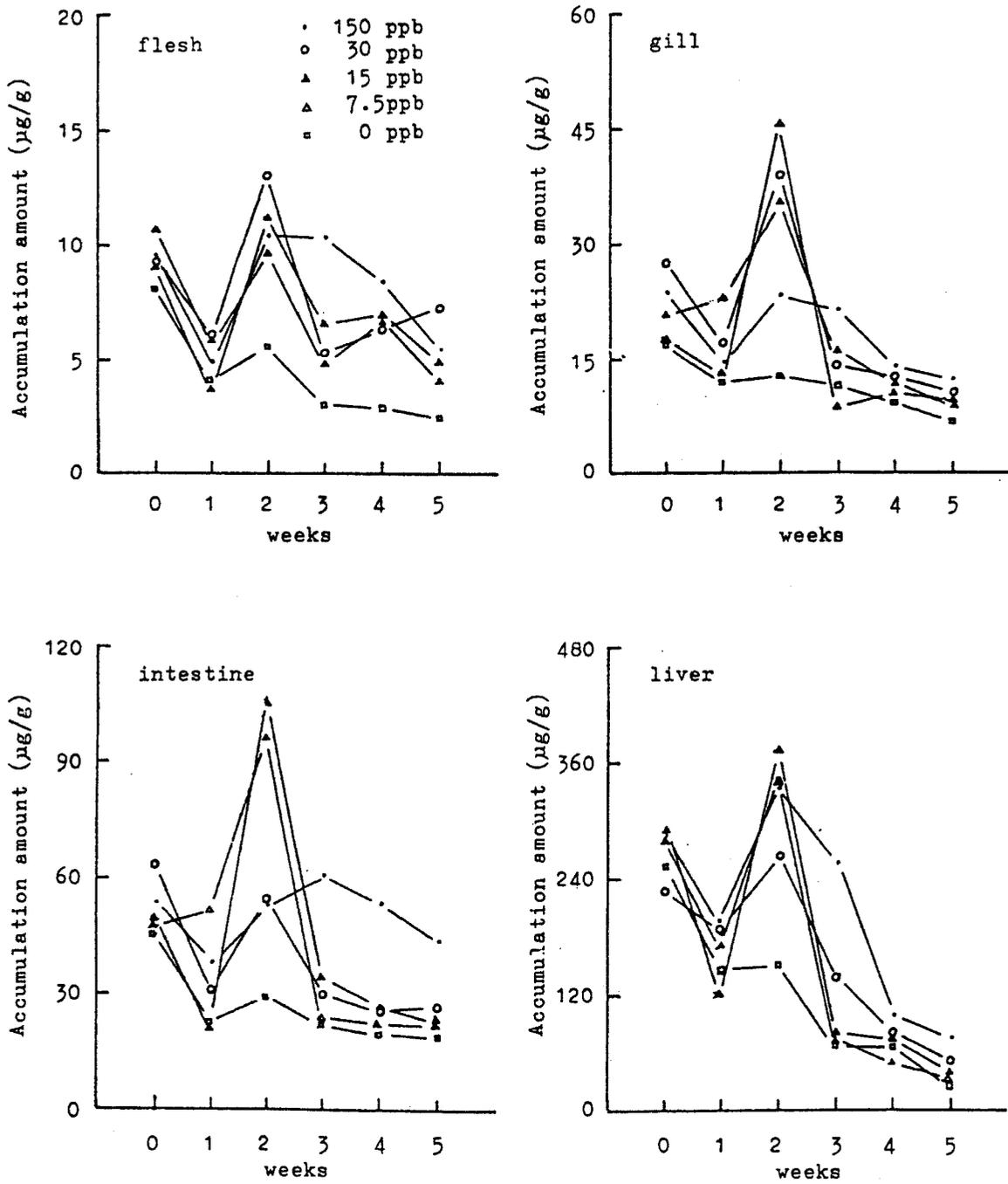


圖 3 鯉魚在不同濃度銅離子中飼育六星期後，轉換成清水蓄養，其肌肉、鰓、腸、肝之蓄積量。
 Fig.3 Accumulation amount ($\mu\text{g/g}$) of Cu in flesh, gill intestine and liver of Common carp for six weeks and then transferred to clean water.

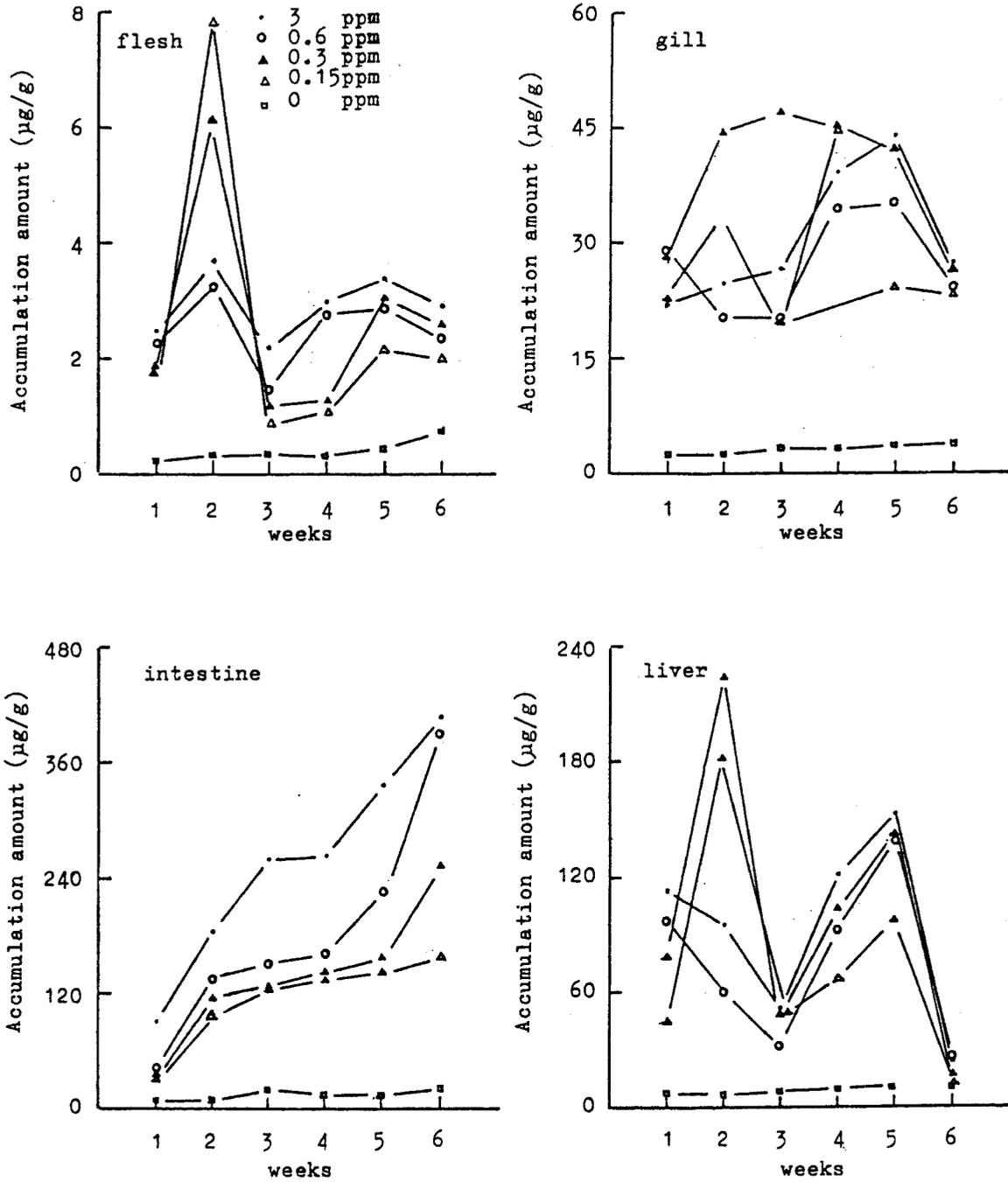


圖 4 鯉魚在不同濃度銅離子中飼育六星期，其肌肉、鰓、腸、肝之蓄積量。
 Fig. 4 Accumulation amount ($\mu\text{g/g}$) of Cd in flesh, gill, intestine and liver Common carp for six weeks.

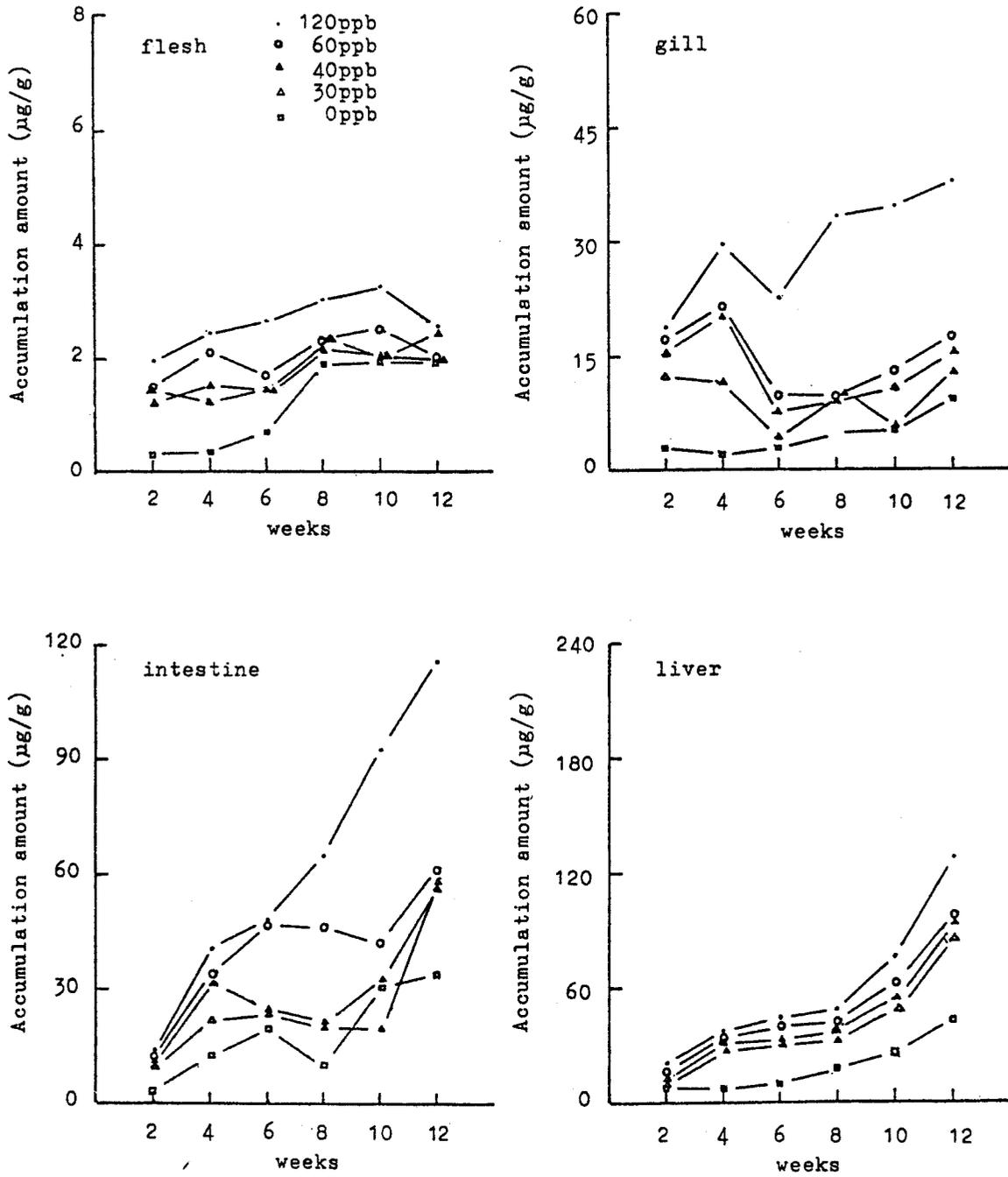


圖 5 鯉魚在不同濃度鎘離子下飼養十二星期其肌肉、鰓、腸、肝之蓄積量。

Fig.5 Accumulation amount ($\mu\text{g/g}$) of Cd in flesh, gill, intestine and liver of Common carp for twelve weeks.

以較低濃度鎘離子進行長時間蓄積試驗，飼育12星期其肌肉、鰓、腸、肝之蓄積情形如圖5。肌肉、腸、肝在四種不同濃度鎘離子中，大致上亦隨著時間而緩和增加(10)，鰓部則有減少再增加的現象。各組織在較高的濃度中飼養12星期後，其肝蓄積的鎘高達 $128.5^{ug}/g$ 。依次為腸、鰓、肌肉。

討 論

本試驗探討水中銅、鎘離子對鯉魚急性毒性，在鯉魚體內之蓄積及銅離子之排出情形。銅、鎘在水中對鯉魚毒性極強，其毒性銅大於鎘。在水中銅、鎘離子濃度愈高，體內蓄積量愈大，就濃縮因素而言，水中濃度愈小，濃縮因素愈大，而銅與鎘相比較，則又以銅濃縮因素較大。以各組織中蓄積量相比較，銅比鎘較易殘留於肌肉、肝，而鎘比銅較易殘留於腸。在低濃度銅離子水中，魚體肌肉在一星期達到很高的蓄積量 $10.9^{ug}/g$ ，同時在極低濃度中，可經由食物中高量的銅離子轉移致肌肉中，鎘大量蓄積於腸中。試驗結果亦顯示對照組在各組織中鎘蓄積量有明顯的增加。飼育期間為維持魚體力及水質穩定，採用某廠牌蝦粒狀飼料，最後分析結果發現每克飼料中含銅、鎘各達 $274mg$ 、 $11.2mg$ ，更可證驗重金屬污染，高濃度除可造成魚類急速死亡，在能忍受的較低濃度下則可經由滲透壓、食物而大量蓄積於魚體。

摘 要

- 一、以銅離子進行鯉魚的短期、長期試驗，其在體內的蓄積量以肝最高，其次為腸、鰓、肌肉。
- 二、以鎘離子進行鯉魚的短期試驗，其在體內之蓄積量以腸最高，其次為肝、鰓、肌肉。長期試驗以肝最高，其次為腸、鰓、肌肉。
- 三、內臟較肌肉容易蓄積銅、鎘，而內臟中又以肝之蓄積量較大。
- 四、蓄積大量銅離子的鯉魚，換成清水蓄養後，其原來水中濃度較高者較原來水中濃度低者較不易排出。
- 五、攝食含高量銅離子的飼料對低濃度中飼育鯉魚之體內蓄積量有很大影響。

謝 辭

本試驗之順利完成，承蒙本分所全體同仁之熱心協助，謹此致謝。

參考文獻

1. 陳建初、莊世彪、洪文慶 (1980). 重金屬對於淡水水生動物之半致死影響。中國水產，325，5—18.
2. 陳建初、曠萬青、林家存 (1980). 汞在鯽魚體內之蓄積與排出。漁業環境保護專集(-)，133—144.
3. 陳建初、秦宗顯 (1983). 汞在牡蠣體內之蓄積與排出。漁業環境保護專集(-)，145—154.
4. 陳建初 (1983). 水質管理。九大圖書公司出版，pp201.
5. 黃連泰 (1988). 一些重金屬對七星鱸及美洲鱸之急性毒試驗。台灣省水產試驗所試驗報告，44，115—118.
6. 蔡添財、余廷基 (1981). 重金屬對吳郭魚、鰻魚及牡蠣的毒性。台灣省水產試驗所試驗報告，33，

- 581—586。
7. 魏彰郁、劉嘉剛 (1982). 重金屬的毒性對鯉魚及吳郭魚的半致死濃度。台灣省水產試驗所試驗報告，34，207—217.
 8. 廖一久、謝介士 (1989). 重金屬對斑間蝦之毒性，I 銅、鎘和鋅對斑節蝦之毒性。台灣水產學會刊，15(2)，69—78.
 9. 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.
 10. 生田國雄 (1987). ササエによる Cd の蓄積，日本水産學會誌，53(7)1237—1242.