

## 廿四、紙、漿廢水的毒性

陳弘成 邱南威 高事宜  
羅錦華 談貴堅 黃瑋雯

臺灣大學動物研究所

### 摘 要

本文係研究花蓮中華紙漿廢水對溪流及海水生物之急速與慢速毒性，其所得結果希望能與野外海域生態調查相配合與印證，以探討紙漿廢水對花蓮海域影響之程度。茲將重要的結果詳列如下。

1. 紙漿廢水能促進黃綠色鞭毛藻 *Isochrysis* 的生長，對綠藻 *Platymonas* 則無影響，但却能抑制矽藻 *Skeletonema* 之生長。
2. 5% 的紙漿廢水即能顯著的降低牡蠣的精子存活率、受精率與孵化率，並增加孵化幼生的畸形率。
3. 廢水對成貝的毒性不大，0.4% 的廢水能提高牡蠣及淡水蜆的攝食量，但 50% 者，則有抑制作用。
4. 廢水濃度在 0.4~2% 時，能促進橈腳類 *Tigriopus japonicus* 及 *Oithona* 之生長。且能增加 *Tigriopus* 之抱卵數及卵囊產生的次數。但當濃度超過 10% 以上者，則有抑制的作用。
5. 匙指蝦 (*Atya* sp.) 及日本沼蝦 (*Macrobrachin nipponense*) 經 168 小時的暴露在 100% 的廢水中，仍無死亡發生，但 25% 廢水者，却對水蚤 *Daphnia* 具有急速毒性。
6. 微量的廢水 (0.4~2%)，能促進花身鰱魚 (*Therapon jarbua*) 的生長。但虱目魚 (*Chanos chanos*) 的生長則隨廢水濃度的增加而減少。表示虱目魚比花身鰱魚較不耐紙漿廢水之毒害。
7. 未處理廢水對生物之毒性，一般比處理者大些，故宜加強廢水處理的效果。
8. 紙漿廢水能引起虱目魚苗身體的病變，而在溪口的吳郭魚亦有 fin erosion 之現象發生。
9. 紙漿廢水對生物無明顯影響的安全濃度為 0.4% 以下。

### 1. 前 言

在各種工業廢水中，紙漿廢水對水生生物的毒性，比起重金屬或農藥廢水而言，應屬於較小的數種之一。然而不可諱言的，在其廢水中，除了含有高濃度的 BOD 與 COD 外，尚包括一些其他有機無機的可溶性有毒物質，因此仍具有毒性 (Wiber, 1971; Lindesjoo & Thulin, 1987)。何況以 Kraft pulp 法來生產紙漿時，其排水量要比他法多些。再加上廢水的色澤深褐，並有多量的纖維，因此其排出後，可能會造成環境的污染 (Gellman, 1988) 並影響魚類的族羣 (Neuman & Karas, 1988)。

一般言之，其對環境所造成的傷害，有下列數點；其一、因多量的有機物，形成水域的優養化

(Eutrophication)。其二為含驅除物質或有毒物質使生物避開或死亡。其三為含纖維與色澤使透光度減少，影響生態系 (Neuman & Karas, 1988)。目前，紙漿廢水影響水生生物的研究已不少，而對廢水的毒性亦有初步的瞭解，其中已包括廢水的急速毒性，慢性影響、生長抑制、生理功能或行為的改變、身體畸形、脊椎彎曲與疾病發生等等 (Woelke, 1960 & 1968; Howard *et al.*, 1971; Mcleay, 1973; Oikarai & Nakari, 1982; Lehtinen *et al.*, 1984; Lindesjoo & Thulin, 1987; Bengtsson *et al.*, 1988; Couillard *et al.*, 1988; Sandstrom & Thoresson, 1988)。

在本省，紙漿工廠之運作已有多年之歷史，其對生物之毒性與環境的影響，究竟有多大，却不得而知。近年來保護環境的觀念已為大家所認同，花蓮中華紙漿排出大量的廢水所引發的環境問題亦開始受到重視。然而若由上述的寶貴資料，據此推斷中華紙漿廢水的毒性並不恰當，因為不同的造紙方式與原料，會有不同的廢水成分與毒性。再者，臺灣本地的魚貝種類及耐力亦與外國使用者大不相同，故若貿然引用，可靠性必定存疑。因此本研究的目的，即利用本地的魚種研究華紙廢水的毒性，而其所得的結果並能與野外生態調查的結果互為印證參考，以利於環境影響大小的解析與研判。

所使用的生物包括藻類與魚類，這是因為藻類為水中最基本的生物，與橈腳類同列最重要的海域浮游生物。經濟貝類的牡蠣，其幼生為相當敏感的試驗材料，而魚類中的虱目魚、花身鰱與豆仔魚都屬經濟或常見的生物。這些都是用上述生物為研究材料的主要原因。

## 2. 材料與方法

本研究所使用的紙漿廢水，係從花蓮中華紙漿公司的排水口所取得。採水時，並同時測定水中 pH 值，溶氧與水溫，然後運回實驗室蓋緊後，儲存於冷房後備用。此儲存液當做 100% 的處理廢水，當試驗進行時，則將其加水稀釋成各種不同的濃度。試驗淡水生物時，則以放置數日的清淨淡水為稀釋水；對於海水生物時，則以放置 1 星期的海水稀釋之。本研究的廢水，大都從公司的排水口所取得，但為了慎重與比較起見，亦進入公司採取未經處理的廢水及從處理槽中採取半處理的廢水，並經相同的試驗以供參考。

研究所使用的藻類，包括矽藻的 *Skeletonema costatum*，鞭毛藻的 *Isochrysis* 與綠藻的 *Platymonas* 三種，這些都由清淨海域中分離，並用 Conway solution (Walne, 1974) 或 Guillard F solution (岩崎, 1967) 加入矽肥培育保存。毒性試驗的條件與方法與陳·林 (1984) 研究廢酸對海洋生物之毒性研究者相同，只是污染物為紙漿廢水而已。

使用的貝類有二種，包括海水的牡蠣 (*Crassostrea gigas*) 及淡水的蜆 (*Corbicula* sp.)，它們從香山或壽豐產地取回後，置於試驗室中使其適應，取其健康正常者使用之。牡蠣剖開後將精子放入不同濃度的廢水中，經過一段時間後，再由顯微鏡下檢視其存活的數目並計算存活率。另外，再利用相同的方法研究其受精率、孵化率或檢視孵化時，正常的 D 形幼生。至於蜆的生理指數的計算法則依 Chen (1975) 的方法，經加權後而得之。蜆的急速毒性則與張、陳 (1970) 之研究方法相同。

被研究的甲殼類中，包括淡水的水蚤 (*Daphnia* sp.)、匙指蝦 (*Atya* sp.)、日本沼蝦 (*Macrobrachium nipponense*) 及海水的甲殼類 *Tigriopus japonica* 和 *Oithona* sp.。這些都從花蓮附近清淨水域中或其他地區而採集的種類，經運回、蓄養、適應後備用。研究的方法與陳·林 (1984) 之毒性研究方法相類似。至於 *Tigriopus* 之卵數與卵囊之影響，則先把正在交配的 1 對雌雄 *Tigriopus* 放入各種濃度的廢水中，俟交配完成後，再把雄者取出。以後每隔 12 小時觀察 1 次，並紀錄每次排出的卵數，卵囊排出的間隔時間及排出卵囊之次數。試驗期間，水溫維持在 28°C，並加入 *Isochrysis* 作為餌料。每個濃度以二重覆試驗之。

做為廢水毒性研究的魚苗，包括豆仔魚 (*Mugil carinata*)、虱目魚 (*Chanos chanos*) 和花身鰱魚 (*Therapon jarbua*)。他們都從宜蘭或淡水採集、蓄養穩定後備用。試驗前，選取大小相似的做為材料，以減少誤差，然後放入 10 或 20 公升的噴膠桶中，內裝各種不同稀釋濃度的廢水。每桶放

入 20 尾仔苗，每天固定餵以等量的豐年蝦，並予以充分打氣，水溫保持在 26~28°C，每隔 5 天換廢水溶液 1 次，每 10 天以游標尺量取魚苗之體長（從口部到尾部），每個濃度以二重覆試驗之。試驗持續到 70 天，並每天觀察其活存情形。

所有急速毒性的研究方法，大都與陳、林（1984）者相同。至於毒性的計算法與表示法，則依 Brown & Ahsanullah (1971) 之方法，其中  $LT_{50}$  值表示一種濃度使試測動物死亡一半所需要的時間，而  $LC_{50}$  值表示在 24 或 96 小時後，使生物死亡一半所需要的濃度。

至於畸形魚體或藻類，則經由顯微鏡觀察後並經照像保存。

### 3. 結 果

矽藻的 *Skeletonema* 在各種不同濃度的紙漿廢水中，生長的情形示於圖 1。經過 13 天的培育後，*Skeletonema* 的生長量有隨著廢水濃度的增加而顯著地減少 ( $p < 0.05$ )。50% 的廢水能完全抑制 *Skeletonema* 之生長，10% 的廢水亦有顯著的抑制作用。在 10% 廢水中生長矽藻量，約只為控制組的一半而已，且矽藻變短，至於 0.4 或 2% 者，則矽藻已較長些，故知廢水對 *Skeletonema* 甚具毒性。未經過處理的紙漿廢水，對 *Skeletonema* 之生長影響與處理者大致相同，然其毒性則比已處理的廢水大些，50% 的未處理廢水在第 4 天後即能殺死矽藻（圖 2）。至於其他較低濃度如 0.4 及 2% 的影響則與上述處理過的廢水者相同。

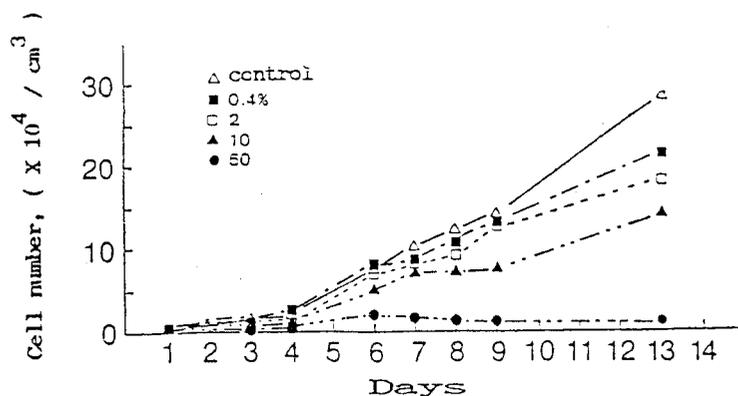


Fig. 1. Growth of *Skeletonema costatum* exposed to treated pulp mill wastewater for 13 days.

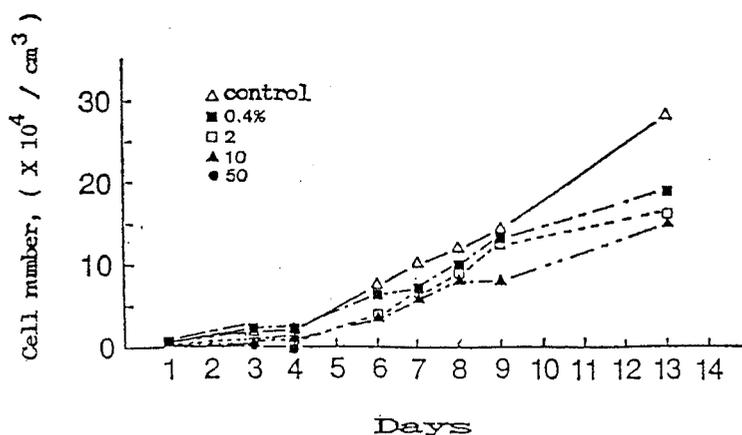


Fig. 2. Growth of *Skeletonema costatum* exposed to untreated pulp mill wastewater for 13 days.

在廢水對另一種黃綠色鞭毛藻 *Isochrysis* sp. 的毒性試驗中，却非常有趣的發現到廢水不但無大毒性，反而有促進藻類生長的特性。*Isochrysis* 在控制組中幾乎不長，而只要添加 0.4% 的廢水濃度，即可使之大量生長（圖 3）。至於最佳的生長濃度則為 2% 的廢水，其 *Isochrysis* 之生長量在控制組與 2% 廢水之間，竟相差約達 5 倍。50% 的廢水不管處理或未處理者與 2% 者比較，仍具有相當程度的生長抑制（圖 4）。

表 1 為不同濃度的廢水對綠藻 *Platymonas* 的生長影響。綠藻的生長在廢水濃度 0~50% 之間似無太大差異 ( $p > 0.05$ )，因此總括紙漿廢水之毒性，可知其毒性受濃度的影響，也因不同的藻類而

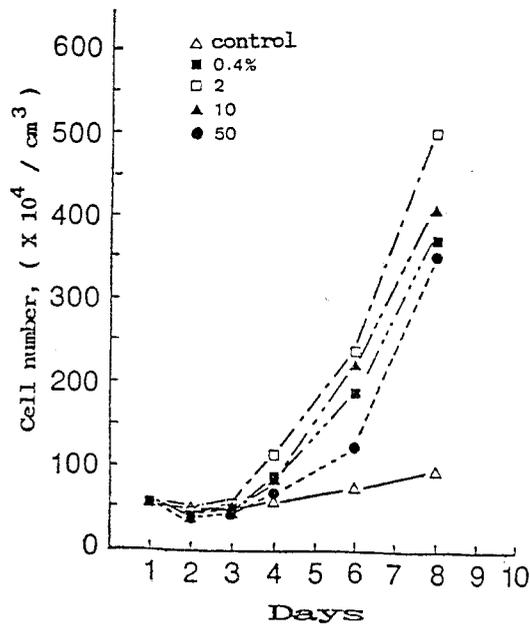


Fig. 3. Growth of *Isochrysis* sp. exposed to treated pulp mill wastewater for 8 days.

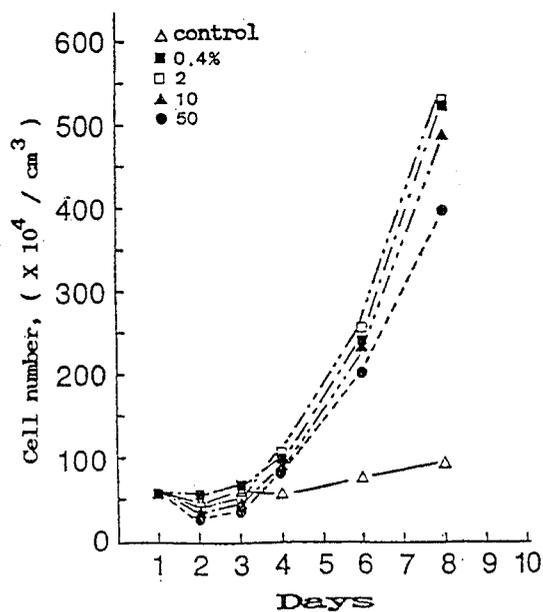


Fig. 4. Growth of *Isochrysis* sp. exposed to untreated pulp mill wastewater for 8 days.



牡蠣受精後的孵化率亦頗受紙漿廢水的影響。其孵化率在 5% 以下的廢水中無差異存在，但仍隨廢水濃度的增加而減少（表 4）。至於未處理者，其孵化率都比處理者為低，若以駢對 *t*-test 分析之，二者仍具顯著差異。至於孵化幼生的畸形率，亦頗受廢水之毒性所影響。在 0.1% 以下之廢水中，無畸形的幼生發生。而畸形率隨濃度的增加而增加，在 50% 之廢水中，幼生全部為畸形（表 5）

Table 4. Effect of pulp mill wastewater on egg hatching of oyster  
*C. gigas*

| Concentration (%) | Treated wastewater |                  |              | Untreated wastewater |                  |              |
|-------------------|--------------------|------------------|--------------|----------------------|------------------|--------------|
|                   | Number hatched     | Number unhatched | Hatching (%) | Number hatched       | Number unhatched | Hatching (%) |
| Control           | 171                | 0                | 100          | 57                   | 0                | 100          |
| 0.1               | 213                | 3                | 98.6         | 66                   | 3                | 95.6         |
| 1                 | 60                 | 3                | 95.2         | 108                  | 12               | 90.0         |
| 5                 | 45                 | 3                | 93.7         | 69                   | 21               | 76.7         |
| 10                | 42                 | 6                | 87.7         | 39                   | 15               | 72.2         |
| 50                | 45                 | 15               | 75.0         | 54                   | 183              | 22.8         |

Table 5. Effect of pulp mill wastewater on veliger abnormality of oyster  
*C. gigas*

| Concentration (%) | Treated wastewater |                  |                 | Untreated wastewater |                  |                 |
|-------------------|--------------------|------------------|-----------------|----------------------|------------------|-----------------|
|                   | Normal veliger     | Abnormal veliger | Abnormality (%) | Normal veliger       | Abnormal veliger | Abnormality (%) |
| Control           | 168                | 0                | 0               | 57                   | 0                | 0               |
| 0.1               | 213                | 0                | 0               | 63                   | 3                | 4.5             |
| 1                 | 222                | 18               | 7.5             | 96                   | 12               | 11.1            |
| 5                 | 39                 | 9                | 18.7            | 30                   | 39               | 56.5            |
| 10                | 6                  | 36               | 85.7            | 0                    | 39               | 100             |
| 50                | 0                  | 45               | 100             | 0                    | 54               | 100             |

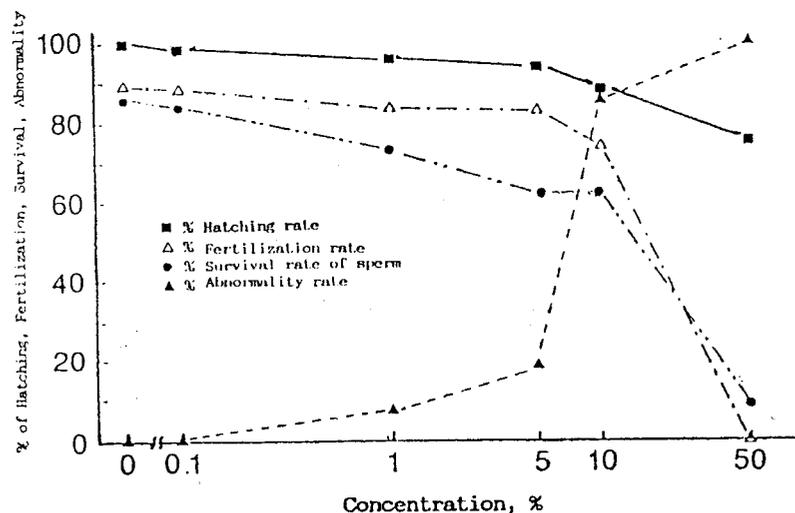


Fig. 5. Effect of pulp mill wastewater on hatching and fertilization of egg, survival of sperm and abnormality of veliger in oyster, *C. gigas*.

。而在未處理的廢水中，則濃度低到 10% 者即全部畸形，若濃度再低為 5% 者，亦有 56% 之幼生畸形。

為方便比較處理與未處理紙漿廢水的毒性，圖 5 與圖 6 分別為二種廢水對牡蠣的綜合影響。由此得知二者在精子的存活率影響差異不大，但對其他的受精率、孵化率及畸形率則差異非常明顯，尤其在高濃度的影響下。同時未處理者之毒性普遍大於處理者。

牡蠣攝食受廢水影響如圖 7。在最初的 4 小時內，10% 的廢水能抑制其攝食量。但到 16 小時後，則只有在 50% 廢水中的牡蠣有減少攝食之現象。再者最佳的攝食量發生在 0.4% 的廢水中，而非在控制組，表示微量的廢水似有些微增加攝食的效果。

河川中的淡水蜆，因係二枚貝，可能具有較高的耐污能力。在廢水對蜆的急速毒性試驗中，發現即使 100% 的廢水，在 96 小時的暴露時間中，仍無死亡的現象發生。因此以雙殼開閉的多少與狀態而算出生理指數如表 6。生理指數愈大者，表示蜆的行為愈正常。由此表可知生理指數隨廢水濃度的增加而減少。在三種廢水中，幾乎都有一致的趨勢。但由於蜆能緊閉其殼，故三者之毒性差異並不明顯。

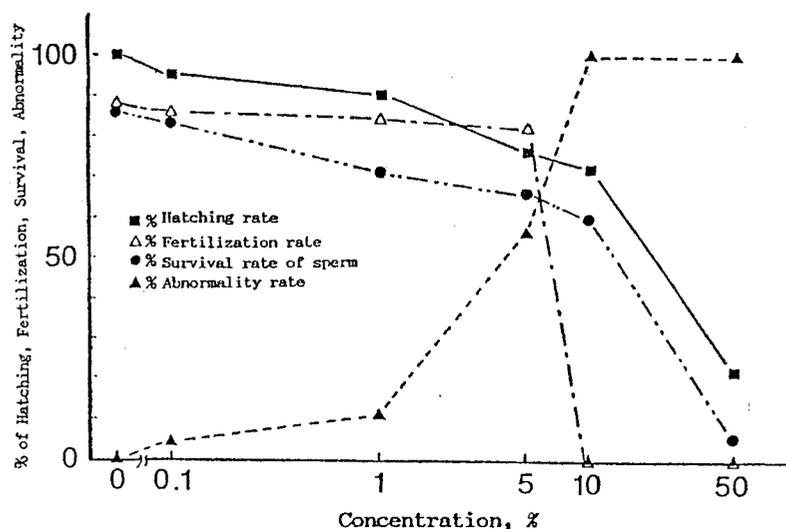


Fig. 6. Effect of untreated pulp mill wastewater on hatching and fertilization of egg, survival of sperm and abnormality of veliger in oyster, *G. gigas*.

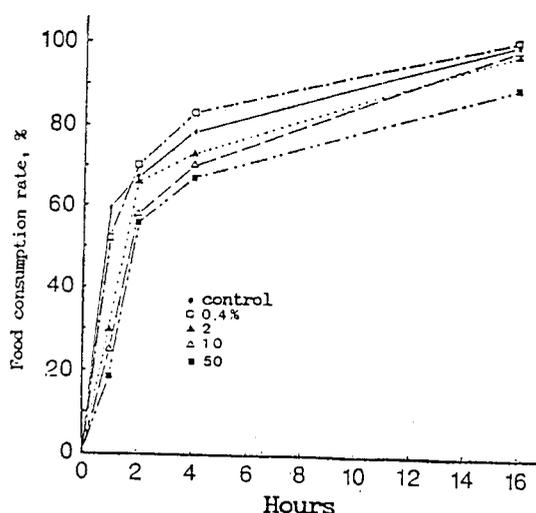


Fig. 7. Effect of pulp mill wastewater on food consumption of oyster, *Crassostrea gigas*.

Table 6. Acute toxicity of pulp mill wastewater to *Corbicula* sp.

(a) After 1 hour

|                     | Control | Treated wastewater |     |      | Half-treated wastewater |     |      | Untreated wastewater |     |      |
|---------------------|---------|--------------------|-----|------|-------------------------|-----|------|----------------------|-----|------|
|                     |         | 25%                | 50% | 100% | 25%                     | 50% | 100% | 25%                  | 50% | 100% |
| Normal              | 6       | 2                  | 0   | 0    | 3                       | 0   | 2    | 5                    | 3   | 1    |
| Extruded            | 0       | 0                  | 0   | 0    | 0                       | 0   | 0    | 1                    | 2   | 0    |
| Closed              | 4       | 8                  | 10  | 10   | 7                       | 10  | 8    | 4                    | 5   | 9    |
| Dead                | 0       | 0                  | 0   | 0    | 0                       | 0   | 0    | 0                    | 0   | 0    |
| Physiological index | 22      | 14                 | 10  | 10   | 16                      | 10  | 14   | 21                   | 18  | 12   |

(b) After 3 hours

|                     | Control | Treated wastewater |     |      | Half-treated wastewater |     |      | Untreated wastewater |     |      |
|---------------------|---------|--------------------|-----|------|-------------------------|-----|------|----------------------|-----|------|
|                     |         | 25%                | 50% | 100% | 25%                     | 50% | 100% | 25%                  | 50% | 100% |
| Normal              | 8       | 8                  | 6   | 5    | 8                       | 7   | 5    | 8                    | 7   | 6    |
| Extruded            | 2       | 0                  | 0   | 0    | 1                       | 0   | 0    | 0                    | 1   | 0    |
| Closed              | 0       | 2                  | 4   | 5    | 1                       | 3   | 5    | 2                    | 2   | 4    |
| Dead                | 0       | 0                  | 0   | 0    | 0                       | 0   | 0    | 0                    | 0   | 0    |
| Physiological index | 28      | 26                 | 22  | 20   | 27                      | 24  | 20   | 26                   | 25  | 22   |

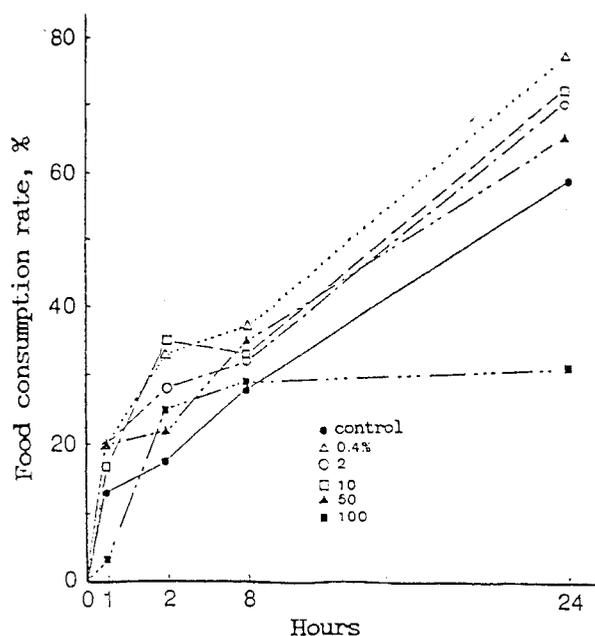
Fig. 8. Effect of pulp mill wastewater on food consumption rate of freshwater clam, *Corbicula* sp.

圖 8 為蜆在廢水中的攝食量，低濃度的廢水如 0.4% 者，其蜆具有最佳之攝食能力，而高濃度如 50% 以上，尤其 100% 廢水，則攝食量大為減少。至於控制組者的攝食量亦不多，故知微量的紙漿廢水有促進蜆的攝食效果。比較處理與未處理二種廢水對蜆攝食率的影響，發現未處理者比處理者較具毒性（表 7），故攝食量顯著的減少，尤其在 100% 廢水中，24 小時後其攝食率只有 13%。

Table 7. Effect of pulp mill wastewater on food consumption of freshwater clam *Corbicula* sp.

| Feeding rate (%)         | Time (h) |    |    |    |
|--------------------------|----------|----|----|----|
|                          | 1        | 4  | 8  | 24 |
| Treated wastewater (%)   |          |    |    |    |
| 0.4                      | 20       | 33 | 37 | 77 |
| 2                        | 20       | 28 | 32 | 70 |
| 10                       | 17       | 35 | 33 | 72 |
| 50                       | 20       | 22 | 35 | 65 |
| 100                      | 3        | 25 | 29 | 31 |
| Untreated wastewater (%) |          |    |    |    |
| 0.4                      | 13       | 15 | 30 | 65 |
| 2                        | 17       | 13 | 23 | 62 |
| 10                       | 10       | 17 | 25 | 68 |
| 50                       | 12       | 17 | 23 | 47 |
| 100                      | 3        | 13 | 8  | 13 |
| Control                  | 13       | 17 | 28 | 58 |

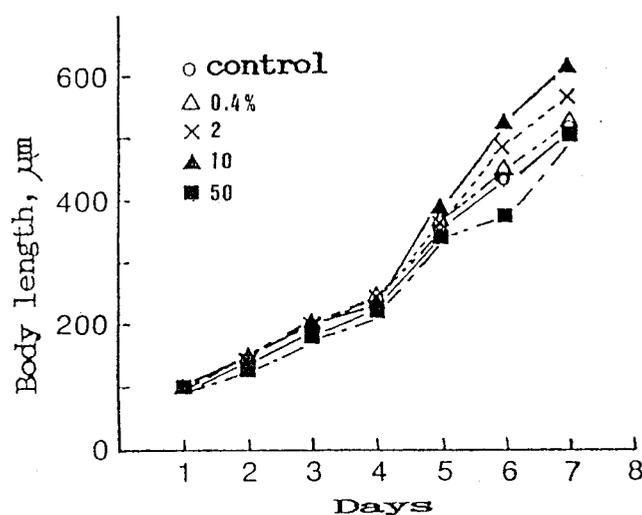


Fig. 9. Growth effect of pulp mill wastewater on *Tigriopus japonica*.

紙漿廢水對 *Tigriopus* 之急速毒害並不大，即使三種不同處理程度之廢水濃度達 67% 時，經過 144 小時後仍沒有發生死亡的現象。在慢性生長的影響試驗中，最佳成長的濃度為 2~10% 的廢水（圖 9），至於 50% 的廢水濃度，則在第 6 天後有使 *Tigriopus* 明顯的生長緩慢現象，而且達到相同變態期的幼體 (Copepodite)，其體長亦比較小。比較處理與未處理廢水之毒性，則發現當廢水濃度在 10% 以下時，二者無顯著差異 ( $p < 0.05$ )。但當廢水濃度提高到 50% 時，則未處理之 *Tigriopus* 成長都比處理者為小，顯示未處理者之毒性較大（表 8）。

紙漿廢水對 *Tigriopus* 抱卵數、抱卵天數及卵囊產生次數的影響示於表 9。很明顯的，當廢水濃度在 50% 時，則對其有顯著之抑制作用。10% 的濃度比控制組雖少些，但影響不顯著，倒是 0.4



及 2% 時，在抱卵數與卵囊產生次數都比控制組多，而生產 10 次的總天數則比控制組少。因此微量  
的廢水應有促進 *Tigriopus* 之生產與族羣繁殖的作用，此結果與前者之成長影響非常相同。

紙漿廢水對另種橈腳類 *Oithona* 的成長影響示於圖10，可知當濃度為 0.4~50% 時，在 6 天的  
成長中，似對 *Oithona* 無明顯之影響，雖然 *Oithona* 在 50% 的廢水濃度中，初期的成長（3 天  
時）較慢，中期時（4~5 天）成長快速，但後期似有減慢之趨勢。若比較二種廢水對 *Oithona* 之成  
長影響，則發現未處理者，在 0.4~2% 之濃度時，仍有促進生長的作用，且其影響有隨未處理廢水  
濃度之增加而減少，尤其當濃度為 50% 時甚為明顯（表 10）。

在淡水蚤甲殼類中，匙指蝦與日本沼蝦對紙漿廢水具有極強的耐力。當廢水的濃度達 100% 時，  
在 168 小時的暴露時間內，二者仍無任何死亡。然而三種廢水對淡水蚤 (*Daphnia*) 則有較強的毒性

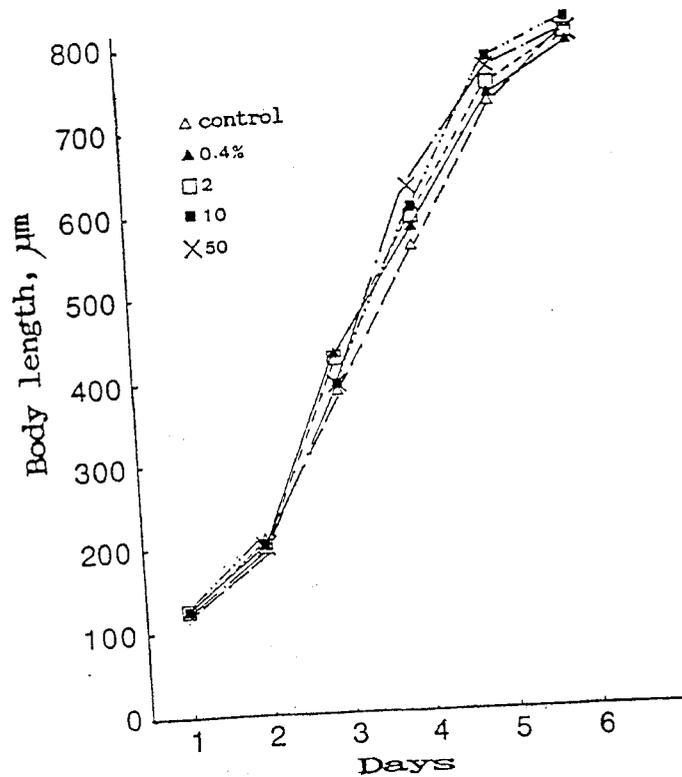


Fig. 10. Effect of pulp mill wastewater on growth of copepod, *Oithona* sp.

Table 10. Growth of copepod, *Oithona* sp. exposed to pulp mill wastewater

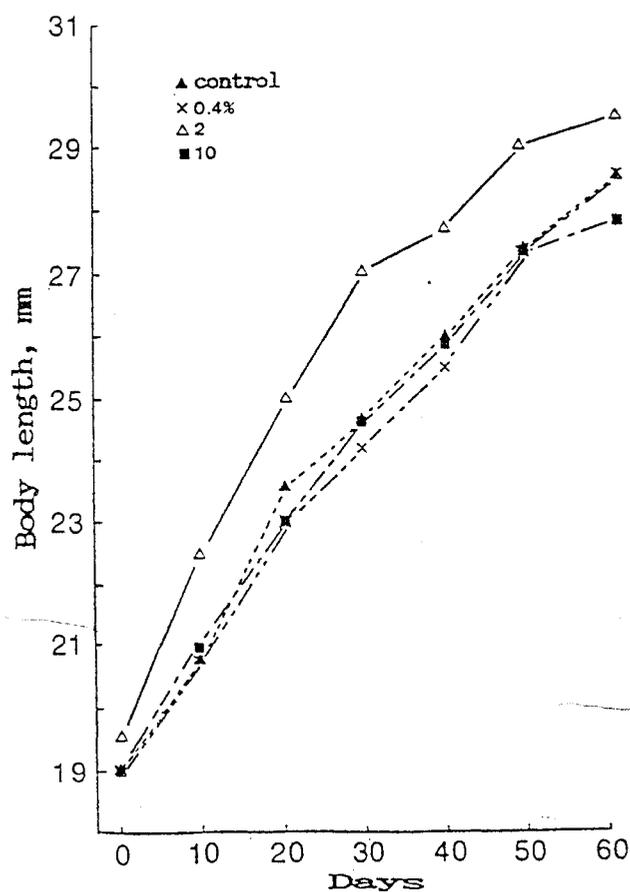
| Body length<br>(μm) | Treated wastewater |     |     |     |     | Untreated wastewater |     |     |     |
|---------------------|--------------------|-----|-----|-----|-----|----------------------|-----|-----|-----|
|                     | Concentration (%)  |     |     |     |     | Concentration (%)    |     |     |     |
|                     | 0                  | 0.4 | 2   | 10  | 50  | 0.4                  | 2   | 10  | 50  |
| Time (days)         | 125                | 125 | 125 | 125 | 125 | 125                  | 125 | 125 | 125 |
| 1                   | 125                | 125 | 125 | 125 | 125 | 125                  | 192 | 192 | 200 |
| 2                   | 204                | 200 | 200 | 200 | 200 | 200                  | 338 | 342 | 296 |
| 3                   | 393                | 438 | 413 | 388 | 388 | 375                  | 552 | 546 | 488 |
| 4                   | 542                | 567 | 579 | 592 | 621 | 600                  | 750 | 738 | 707 |
| 5                   | 717                | 725 | 735 | 775 | 763 | 769                  | 813 | 800 | 794 |
| 6                   | 806                | 794 | 800 | 813 | 800 | 819                  |     |     |     |

Table 11. Acute toxicity of pulp mill wastewater to *Daphnia* sp.

| % survival  | Control | Treated wastewater |     |      | Half-treated wastewater |     |      | Untreated wastewater |     |      |
|-------------|---------|--------------------|-----|------|-------------------------|-----|------|----------------------|-----|------|
|             |         | Concentration      |     |      | Concentration           |     |      | Concentration        |     |      |
|             |         | 25%                | 50% | 100% | 25%                     | 50% | 100% | 25%                  | 50% | 100% |
| Time (days) |         |                    |     |      |                         |     |      |                      |     |      |
| 1           | 100     | 100                | 100 | 100  | 100                     | 100 | 100  | 100                  | 100 | 100  |
| 2           | 100     | 100                | 91  | 63   | 100                     | 84  | 56   | 91                   | 63  | 42   |
| 3           | 100     | 100                | 84  | 49   | 91                      | 63  | 0    | 84                   | 42  | 0    |
| 4           | 100     | 100                | 84  | 21   | 84                      | 63  | 0    | 84                   | 42  | 0    |
| 5           | 100     | 100                | 77  | 14   | 77                      | 63  | 0    | 84                   | 42  | 0    |
| 6           | 100     | 100                | 63  | 0    | 77                      | 63  | 0    | 84                   | 42  | 0    |

Table 12. Acute toxicity of pulp mill wastewater to fish, *Therapon jarbua*

| Concentration of wastewater | LT <sub>50</sub> |
|-----------------------------|------------------|
| 100%                        | 72 hours         |
| 50%                         | 96 hours         |
| 10%                         | 300 days         |

Fig. 11. Effect of pulp mill wastewater on growth of *Therapon jarbua* for 60 days.

，100% 的任何廢水分別在第3天或第6天時，使水蚤全數死亡（表11），50% 者或較低 25% 者亦會引起部分的急速死亡。比較三種廢水之急性毒性時，得知以未處理者為最大，半處理次之，而以處理者之毒性為最小。

從紙漿廢水對魚類的急速毒性研究中，發現魚類亦頗能忍耐廢水之毒害。例如把虱目魚暴露在100% 的廢水144小時後，虱目魚仍無死亡。豆仔魚在100% 的廢水中，於最初的96小時內亦都無死亡發生；倒是廢水若為半處理者：則毒性較大，其10% 的  $LC_{50}$  為48 hr。表12為廢水對花身鰻魚之毒性，其  $LT_{50}$  值有隨廢水濃度之增加而降低。廢水10% 者即不會引起急速毒性。

Table 13. Growth effect of pulp mill wastewater on fish, *Therapon jarbua*

| Body length<br>(mm) | Control | Treated wastewater |      |      | Untreated wastewater |      |      |
|---------------------|---------|--------------------|------|------|----------------------|------|------|
|                     |         | Concentration (%)  |      |      | Concentration (%)    |      |      |
|                     |         | 0.4                | 2    | 10   | 0.4                  | 2    | 10   |
| Time (days)         |         |                    |      |      |                      |      |      |
| 0                   | 19.2    | 19.0               | 19.5 | 19.0 | 19.6                 | 19.5 | 19.8 |
| 10                  | 20.8    | 20.8               | 22.5 | 21.0 | 20.8                 | 21.0 | 20.2 |
| 20                  | 23.6    | 22.8               | 25.0 | 23.0 | 22.4                 | 24.2 | 21.4 |
| 30                  | 24.8    | 24.2               | 27.0 | 24.5 | 24.0                 | 25.8 | 22.2 |
| 40                  | 26.0    | 25.4               | 27.7 | 25.8 | 25.8                 | 26.5 | 23.2 |
| 50                  | 27.4    | 27.0               | 29.0 | 27.2 | 27.6                 | 27.0 | 25.0 |
| 60                  | 28.2    | 28.4               | 29.5 | 27.8 | 28.2                 | 27.6 | 26.8 |

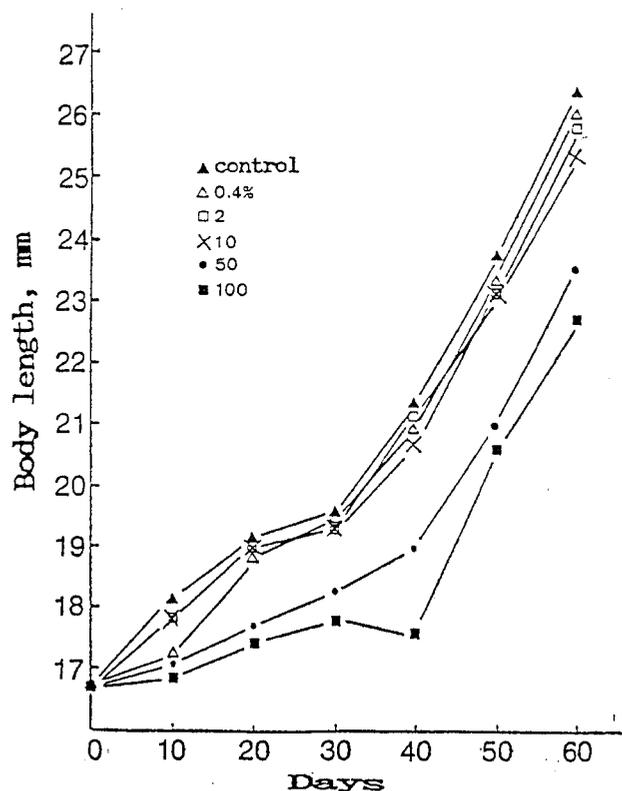


Fig. 12. Effect of pulp mill wastewater on growth of milkfish, *Chanos chanos* for 60 days.

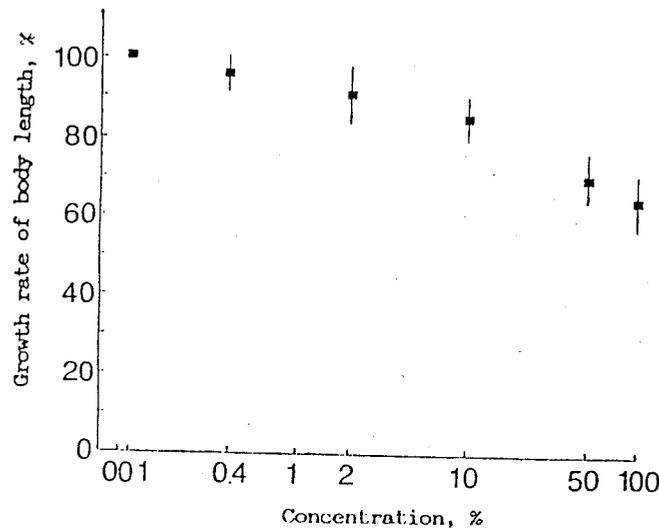


Fig. 13. Effect of pulp mill wastewater on growth of milkfish after rearing for 70 days.

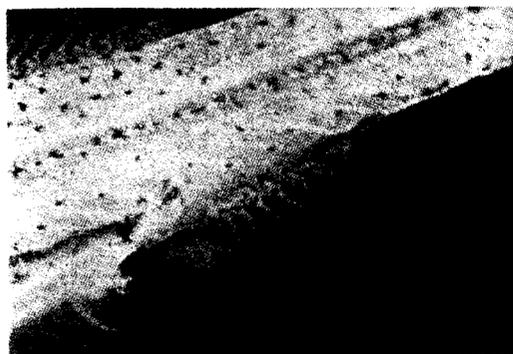
圖 11 為花身鷄魚在廢水中之生長情形，其中以在 2% 廢水中的成長為最快。當廢水濃度達 10% 時，其生長速率已下降很多，而與 2% 者有顯著的差異 ( $p < 0.05$ )。未處理的廢水毒性比處理者大些，且在早期時 (0~40 天) 花身鷄魚的成長以 2% 組為最快，但到後期時 (40~60 天) 則以 0~0.4% 組者為最佳 (表 13)，此意謂着 2% 的未處理廢水已不是十分適合花身鷄魚的生長。再者，在試驗進行期間，亦發現花身鷄魚的體表極易附有多量的細菌或黴菌，且似有隨濃度之增加而增加之趨勢。

虱目魚在不同濃度的紙漿廢水中，其生長情形示於圖 12。在最高的二個濃度中，其生長緩慢，與其他濃度者有極顯著的差異 ( $p < 0.05$ )，而在其他較低的四個濃度中，則相差不大。在此試驗中仍以控制組的生長為最佳。圖 13 為 70 天後，虱目魚在各組廢水的體長，以控制組體長的百分比表示之。很明顯的，其生長隨廢水濃度的增加而減低。表示虱目魚比花身鷄魚較不耐紙漿廢水之毒害。

在紙漿廢水對虱目魚苗的成長影響試驗中，發現會引發虱目魚部份身體的病變。其病變的主要部份為腎鰭，背鰭或尾鰭鰭條的彎曲、鬆散與鰭條分節模糊，甚至鰭條尾端已開始分離或鰭膜的破壞 (圖版 1a~1d)。其中以在腎鰭者為最普遍。其出現的時刻，一般在飼育的 4 或 12 天之後才發生，且廢水濃度大者，或廢水為未處理者一般較早出現。再者，由於高濃度的廢水含有多量的有機物或纖維，使鰭部、尾部或體表常沾滿這些不潔之物，對小魚苗而言，亦為日常游動的另一種負荷。最後，隨着時間的增加，鰭部受損的情形愈為嚴重，而白點病或水黴菌也就應勢而生 (圖版 2)，產生另一層危害。而嚴重者則產生畸形的個體如眼球突出或頭蓋骨凹入 (圖版 3a & 3b)。另外，在野外的調查中，特別於花蓮溪河口紙漿廢水常聚集的地方，亦發現有 fin erosion 的吳郭魚 (圖版 4)，其鰭條的尾端已明顯的出現病變，在在都表示廢水對魚鰭的毒害作用。

#### 4. 討 論

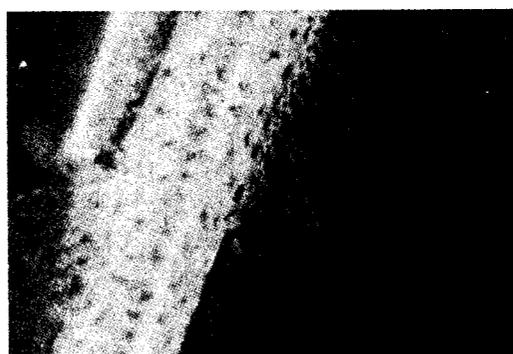
藻類為水生生物中最基本的，也極為重要的種類之一。其數量的多寡能直接或間接影響到整個生態體系。紙漿廢水對三種藻類的影響，竟有三種不同的甚或完全相反的結果，可見廢水的專一性及藻類的多樣化。一般言之，含有機物較多的稀釋廢水常能促進海藻的生長 (Gordon & Prouse, 1973)，紙漿廢水亦因含有多量的有機物，故使 *Isochrysis* 能大量生長，然而 50% 未處理廢水却能使矽藻在 4 天內變淡死亡，因此廢水中必含有某種成分能快速地破壞矽藻的色素。其影響的結果與黃 (1989, 見第二章) 發現河口域的 *Skeletonema* 比其他稍遠的二處有較少的現象相吻合。其實河水



圖版 1 a 臀鰭鰭條已彎曲的虱目魚。



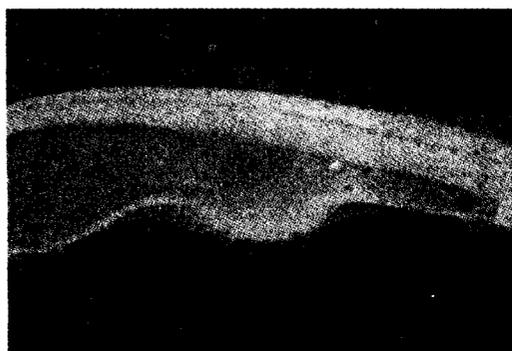
圖版 1 b 臀鰭鰭條已鬆散，分節不清楚，但背鰭仍完整的虱目魚。



圖版 1 c 背鰭中央鰭條短小且分叉，並開始有白點病之感染。



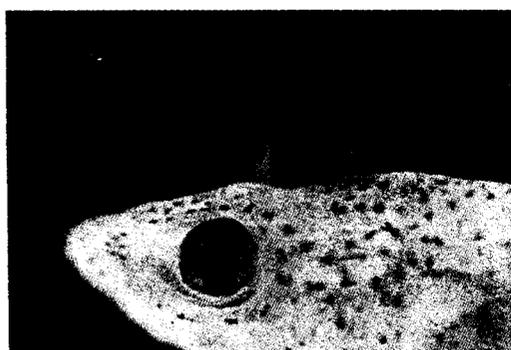
圖版 1 d 鰭條末端已破壞散開，且沾有污物。



圖版 2 在廢水中的虱目魚苗，極易感染細菌。



圖版 3 a 在廢水中生長的虱目魚苗，眼球突出。



圖版 3 b 在廢水中生長的虱目魚苗，眼後頭部凹入。



圖版 4 在花蓮溪口的吳郭魚，其背鰭與尾鰭的末端已有病變。

帶來極高的營養鹽與矽鹽，矽藻應可在此大量繁殖才對，現在不增反減，應與紙漿廢水的毒性有關。然而在廢水的排出溝水中，則發現有多數的綠藻與藍綠藻，試驗室的培育也能促進 *Isochrysis* 之大量繁殖，花蓮溪河口與附近海域的浮游植物差異也不大（黃，1989），這些都可以表示稀釋後的紙漿廢水對藻類（特別是 *Skeletonema*）雖有毒性，但已不如想像中的強烈。

牡蠣的幼生為相當敏感的動物，可做為污染物生物檢定的好材料（Woelke, 1968）。美國牡蠣的幼生在 16 ppm 的紙漿廢水中（以 Sulfite 為主）發育時，已有畸形個體之發生，且幼生的生長與存活率都極低；但其成熟的牡蠣，無論在成長或攝食方面，則不受此濃度的影響（Woelke, 1960）。本研究之結果亦與此非常相似，即卵之受精率與孵化率、幼生的正常率，都隨濃度的增加而減少，但成長的牡蠣，在 0.4% 的廢水中，其攝食量則為最佳，故知廢水對牡蠣之毒性隨個體大小而不同。再者攝食是生物維持生存的主要活動之一，所以從攝食量的多寡，可以了解生物之生理機能受環境污染的程度（Chen, 1975）。淡水蜆之攝食率與牡蠣相同，亦以在 0.4% 的廢水中為最佳，表示微量的廢水有增加牡蠣攝食量的功效。

在廢水濃度 67% 的海水橈腳類 *Tigriopus*，經過 7 天仍無死亡之現象發生，但是 25% 或 50% 的廢水濃度却能使淡水枝角類 *Daphnia* 部分死亡，故知 *Daphnia* 仍比 *Tigriopus* 對廢水的毒性較為敏感。也因此 *Daphnia* 在其他各地常被用來做為污染物毒性研究的好材料（Biesinger & Christensen, 1972），比較紙漿廢水與其他污染物之毒性時，得知紙漿廢水的毒性比重金屬少，但比養豬廢水大很多。在紙漿廢水排水口下游的河川採集中，亦無 *Daphnia* 的存在（雷，1989，見第三部分），其真正的原因雖仍未知，但紙漿廢水可能是影響的原因之一。

在本研究中，微量 0.4~2% 的廢水有促進 *Tigriopus* 及 *Oithona* 之成長，更能增加 *Tigriopus* 的產卵次數與生產的卵數，其產卵次數可達 23 次，而總卵數亦達 660 個。陳與林（1984）研究廢酸對 *Tigriopus* 相似的試驗中，發現其產卵次數與產卵數部隨廢酸濃度的增加而減少，在 100 ppm 為最低只有 9 次與 40 個卵，即使濃度低至 3.3 ppm 者，仍有抑制的作用。將二者加以比較可知紙漿廢水的毒性比廢酸者低得太多。然而高濃度的紙漿廢水亦能抑制橈腳類的生長，故其毒性還是存在。

在廢酸中生長的 *Tigriopus*（陳與林，1984），在重金屬中生長的岩蝦（Chen, 1980）與本研究中，都發現當污染物濃度愈高時，其個體幼生的體長都比在控制組中同一發育變態期的幼生為短。這種現象也發現其他污染影響下的動物，因此在野外污染調查鑑定時，若能同時測定幼生變態期的體長，說不定亦為相當良好的佐證之一。

虱目魚的成長隨廢水濃度的增加而減少，但花身雞魚生長最佳的廢水濃度則為 2%，表示虱目魚比花身雞魚較不耐紙漿廢水的毒害。也就是說排出廢水即使經過部分稀釋後，仍不是虱目魚的良好生長環境。在花蓮海域的虱目魚苗雖小，但已有不錯的游泳能力，當其認為環境不適時，除非毒性太大，引起急速死亡外，牠們會慢慢的游離該污染區域；但花身雞魚為較能容忍污染的種類，因此仍喜歡在此環境中繼續成長。這與曾（1989，見第四章）的調查結果，發現虱目魚較少在花蓮溪河口的 2 與 3 站出現，反而在離河口較遠的 1 與 4 站有大量出現的現象相符合。至於花身雞魚在第 1 與 2 或 3 站都有大量的出現，即與其本身的特性有關。

比較上述所有動物對紙漿廢水毒性之忍受能力，發現牡蠣與蜆的成體仍具有最佳的耐力，海水橈腳類的耐力與之相差不遠；而以魚類者為最差。貝類能比魚類或甲殼類對一般污染物耐力較大的原因，與其具有閉殼的作用有關，因其可暫時隔絕污染物對牠的毒害，延長生存的時間（Swedmark *et al.*, 1971；謝，1979；陳與林，1984）。因此不是一種很好的污染鑑定的指標生物，然而若其族羣已經大量減少者，可知其污染已經相當嚴重。因此若以貝類為對象，則以其幼生為研究之材料才能明顯的看出其毒性。

紙漿廢水能引起魚類生理功能的障礙（Andersson *et al.*, 1988），組織的破壞（Lehtinen *et al.*, 1984），脊椎骨的彎曲（Bengtsson *et al.*, 1988）與鱗條的退化（Thulin *et al.*, 1988）這些

現象都與本研究所發現的結果相似，因此有病變如彎曲、突眼、fin rot 或 fin erosion 等症狀是由紙漿廢水所引起應可確定。至於在魚苗表面有較多的白點病發生或黴菌的寄生，與 Sindermann (1977)，Couillard *et al.* (1988) 研究紙漿廢水毒性的結果一致，這是因為魚受污染影響，已失去了抗病菌的能力，因而引發病症。

在本研究所有的試驗中，未處理廢水之毒性比半處理者大些，而以處理者較小，此結果與 Ruoppa 與 Nakari (1988) 的研究完全一致。雖然花蓮紙漿廢水的毒性比 Bertolletti *et al.* (1988) 所報導的紙漿廢水的毒性低，但基於花蓮三種廢水的毒性相差不是很大，因此加強廢水的處理方法，應有改善當地水域的希望。

### 參 考 文 獻

- Bengtsson, B. E., A. Bengtsson and U. Tjarnlund (1988). Effects of pulp mill effluents on vertebrae of fourhorn sculpin, *Myoxocephalus quadricornis*, Bleak, *Alburnus alburnus*, and perch, *Perca fluviatilis*. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* **17**: 789-797.
- Bertolletti, E., R. P. A. Araujo, P. A. Zagatto and E. G. Goldstein (1988). Toxicity evaluation of paper mill effluents. *Wat. Sci. Tech.* **20**(2): 191.
- Biesinger, K. E. and G. M. Christensen (1972). Effects of various metals in survival, growth, reproduction, and metabolism of *Daphnia magna*. *J. Fish. Res. Bd. Can.* **29**: 1691-1700.
- Brown, B. and M. Ahsanullah (1971). Effect of heavy metals on mortality and growth. *Mar. Pollut. Bull.* **3**: 182-188.
- Chen, H. C. (1975). Some effects of heavy metals on the prawn *Palaemon elegans*. Ph. D. Thesis, University of Liverpool. 163 pp.
- Chen, H. C. (1980). Some abnormal aspects of *Palaemon elegans* exposed to heavy metals. *NSC Symp. Ser.* **3**: 75-83.
- Couillard, C. M., R. A. Berman and J. C. Panisset (1988). Histopathology of rainbow trout exposed to a bleached kraft pulp mill effluent. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* **17**: 319-323.
- Gellman, I. (1988). Environmental effects of paper industry wastewaters—An overview. *Wat. Sci. Tech.* **20**(2): 59-65.
- Gordon, D. C. and N. J. Prouse (1973). The effects of three oils on marine phytoplankton photosynthesis. *Mar. Biol.* **22**: 329-333.
- Howard, T. E., D. J. McLeay and C. C. Walder (1971). Sub-lethal effects of bleached kraft mill effluents to fish. CPAR Project Rep. 9-2: 63 p.
- Lehtinen, K. J., M. Notini and L. Landner (1984). Tissue damage and parasite frequency in flounders, *Platichthys flesus* (L.), chronically exposed to bleached kraft pulp mill effluents. *Ann. Zool. Fenn.* **21**: 23-28.
- Lindesjoo, E. and J. Thulin (1987). Fin erosion of perch (*Perca fluviatilis*) in a pulp mill effluent. *Bull. Eur. Assoc. Fish. Pathol.* **7**: 11-14.
- McLeay, D. J. (1973). Effects of a 12-hr and 25-day exposure to kraft pulp mill effluent on the blood and tissues of juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *J. Fish. Res. Board Can.* **30**: 395-400.
- Neuman, E. and P. Karas (1988). Effects of pulp mill effluent on a Baltic coastal fish community. *Wat. Sci. Tech.* **20**(2): 95-106.
- Oikari, A. O. J. and T. Nakari (1982). Kraft pulp mill effluent components cause liver dysfunction in trout. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* **28**: 266-270.
- Ruoppa, M. and T. Nakari (1988). The effects of pulp and paper industry (Tervakoski Oy) waste waters on the fertilized eggs and alevins of zebrafish and on the physiology of rainbow trout. *Wat. Sci. Tech.* **20**(2): 201.
- Sandstrom, O. and G. Thoreson (1988). Mortality in perch populations in a Baltic pulp mill effluent area. *Mar. Pollut. Bull.* **19**(11): 564-567.
- Swedmark, M., B. Braaten, E. Emanuellsson and A. Granmo (1971). Biological effects of surface active agents on marine animals. *Mar. Biol.* **9**: 183-201.
- Walne, P. R. (1974). Culture of bivalve molluscus, 50 years of experience at Conway. Fishing News (Books) Ltd., Surry, 173 p.

- Wilber, C.G. (1971). The biological aspects of water pollution. Charles C. Thomas, Springfield, Ill. 296 pp.
- Woelke, C.E. (1960). Preliminary report of laboratory studies on the relationship between fresh sulfite waste liquor and the reproductive cycle of the olympic oyster, *Ostrea lurida*. Pages 107-148. In Reports on Sulfite Waste Liquor in a Marine Environment and Its Effects on Oyster Larvae. Washington Department of Fisheries Research Bulletin 6. 161 pp.
- Woelke, C.E. (1968). Application of shellfish bioassay results to the Puget Sound pulp mill pollution problem. *Northwest Science* 42: 125-133.
- 岩崎英維 (1967)。微細藻類 分離 培養。55 頁。日本水產資源保護協會。
- 陳弘成, 林泰榮 (1984)。廢酸對海洋生物之毒性研究。環保署 73-03-002。58 頁。
- 黃 穰 (1989)。花蓮海域生態環境調查。環保署 EPA-78-006-07-157 和 EPA-78-006-08-158。第二章。
- 張金豐, 陳弘成 (1980)。海洋污染物對蠔苗之毒性研究。海洋彙刊。26: 47-58。
- 曾萬年 (1989)。花蓮海域生態環境調查。環保署 EPA-78-006-07-157 和 EPA-78-006-08-158。第四章。
- 雷淇祥 (1989)。花蓮海域生態環境調查。環保署 EPA-78-006-07-157 和 EPA-78-006-08-158。第三章。
- 謝明慧 (1979)。重金屬對幾種沿岸生物毒性之研究。海洋學院碩士論文。49 頁。