

# 花身雞魚的耳石成長與生活履歷關係之研究

鄭豐洲<sup>1</sup> · 張永明<sup>2</sup> · 曾萬年<sup>2</sup>

(1996年5月2日收件；1996年6月15日接受)

## 摘 要

花身雞魚 Thornfish (*Terapon jarbua* Forsskal) 為本省沿岸的優勢魚種，其仔稚魚於每年4-10月間成群洄游於河口域。本研究的目的在比較正常與畸形花身雞魚耳石成長的差異性，並推測畸形魚發生時的日齡及其生活履歷。結果發現金山核二廠排水口正常與畸形魚耳石與體長的相對成長關係有顯著性的差異，但兩者的體長與體重關係並無顯著性差異。由耳石形態變化及日輪數，得知花身雞魚大約在孵化後21天進入排水口附近海域。受到高水溫的影響，畸形魚耳石的成長比正常者快，因此造成耳石與體長的相對成長的不偶合現象。

關鍵字：花身雞魚，畸形魚，耳石，成長，生活史。

## 前 言

花身雞魚 thornfish (*Terapon jarbua* Forsskal)，俗稱花身仔。屬於鱸目 (Perciformes)、條紋雞魚科 (Teraponidae) (Nelson, 1984; 陳及于, 1986)。廣泛分佈於印度太平洋熱帶及亞熱帶地區，為廣鹽性魚類。在沿岸及河口域均可發現其蹤跡。花身雞魚大約在離岸50公尺深的海域產卵 (繆, 1989; Miu et al., 1990)。仔稚魚於每年4-10月間成群洄游至沿岸河口域攝食 (林, 1990)。5-7月為出現最高峰，其次是9-10月 (Tzeng, 1995)。

1993年夏季於台北縣金山鄉台電第二核能發電廠排水口附近海域，發現許

多背部隆起、脊柱彎曲的畸形花身雞魚，俗稱「秘雕魚」，該事件受到社會大眾的關注，於是國內學者針對畸形魚的成因作一連串的研究，探討水溫、輻射、重金屬、營養和遺傳等因子的影響及其形態的研究，發現水溫可能是造成脊柱彎曲的主要原因 (邵及黃, 1995)。但是對於畸形魚的生活史並不瞭解。

自從 Pannella (1971) 發現魚類耳石的日成長輪 (簡稱日輪, daily growth increment) 之後，以耳石為媒介，研究仔稚魚的日齡 (Campana and Neilson, 1985)、成長及死亡率 (Healey, 1982; Volk et al., 1984)、生活史和棲息環境 (Campana, 1984)，以及族群鑑定 (West, 1983) 等之報告與日俱增

<sup>1</sup> 國立臺灣大學牙醫學系，台北100，台灣。

<sup>2</sup> 國立臺灣大學動物學系，台北106，台灣。

(Jones, 1992; Secor et al., 1995)。這些研究對魚類初期生活史之瞭解，貢獻極大。耳石為霏石 (aragonite) 系列的礦物性結晶，是一種非細胞性的添加生長現象 (accretionary growth)，與細胞分裂的體成長機制不同 (Carlstrom, 1963；Simkiss, 1974；Dunkelberger et al., 1980；Morales-Nin, 1987；Gauldie and Nelson, 1988；Saito and Yamada, 1989；Zhang, 1992)。耳石的成長呈現生物時鐘 (biological clock) 的概日韻律現象 (circadian rhythm)。以顯微鏡高倍率放大之後，耳石出現兩種基本形態：一為輪寬較寬且透明的生長帶 (incremental zone) 或稱明帶 (hyaline zone)，主要成分為碳酸鈣；一為輪寬窄而不透明的不連續帶 (discontinuity zone) 或稱暗帶 (opaque zone)，主要成分為有機物質。一明帶及一暗帶形成的時間大約為一天，故稱之為日輪 (Mugiya et al., 1981)。

耳石的日週性成長受魚類的生理週期和新陳代謝等內在因子以及水溫、鹽度、攝餌和光週期等外在環境因子的影響 (Taubert and Coble, 1977; Brothers, 1978; McGurk, 1980; Campana, 1984; Mugiya, 1984, 1987; Campana and Neilson, 1985; Tzeng and Yu, 1992)。當魚孵化、變態及其洄游環境改變時，耳石上會形成記號 (check) (Brothers and McFarland, 1980；Pannella, 1980; Radtke et al., 1988; Tzeng and Tsai, 1992; Cheng and Tzeng, 1996)。由這些記號的出現位置及日齡判讀，可以回推其生活履歷。

本研究的目的是在比較正常及畸型花身雞魚耳石的構造、成長，以期瞭解花身雞

魚的初期生活史。

## 材料及方法

### 一、標本採集

溫度試驗用的花身雞魚：1995 年 7 月 16 日於淡水鎮沙崙里公司田溪口採得 (Fig. 1)。因該地區累積相當多花身雞魚的基礎生物學調查資料 (Miu et al., 1990; 林, 1990; Tzeng, 1995)，故選擇該地區的花身雞魚，進行溫度試驗。該溪口屬半日潮 (semidiurnal tide) 的沿岸平原型河口域 (coastal plain estuary)，潮差 1.5~3m，適合河川張網的採集 (Tzeng, 1995)。該地區原是北部少數未受到破壞的河口域，因新市鎮開發，環境已有所改變。

畸型花身雞魚：1995 年 7 月至 9 月間於金山核二廠排水口附近採得 (Fig. 1)。金山核二廠沿岸域為一開闊型的海岸、潮差小，排水口附近因突堤效應及小溪的注入，雖然核二廠排放熱廢水，但仍然大量的花身雞魚聚集。因地形複雜、花身雞魚體長範圍大，以手釣方式採集。

### 二、溫度試驗

將採回的魚苗，隨機挑出 300 尾，然後分成兩組，分別飼育於 55x60x80 立方公分的水族箱。實驗組的水溫以加溫器控制在 39℃ 左右，而對照組則以室溫 (約 30℃ 左右) 飼育，水溫的誤差為 ± 1.5℃。由於餵食的量、頻率及光照長短會影響耳石的成長及日輪形成速率 (McGurk, 1984; Campana and Neilson, 1985; Bailey and Stehr 1988)，故此二因子在兩組之間設定為隨機變項。鹽度維持在 29-32‰ 間。加溫前兩組各取出 5 尾魚固定，爾後每隔 5 日分別

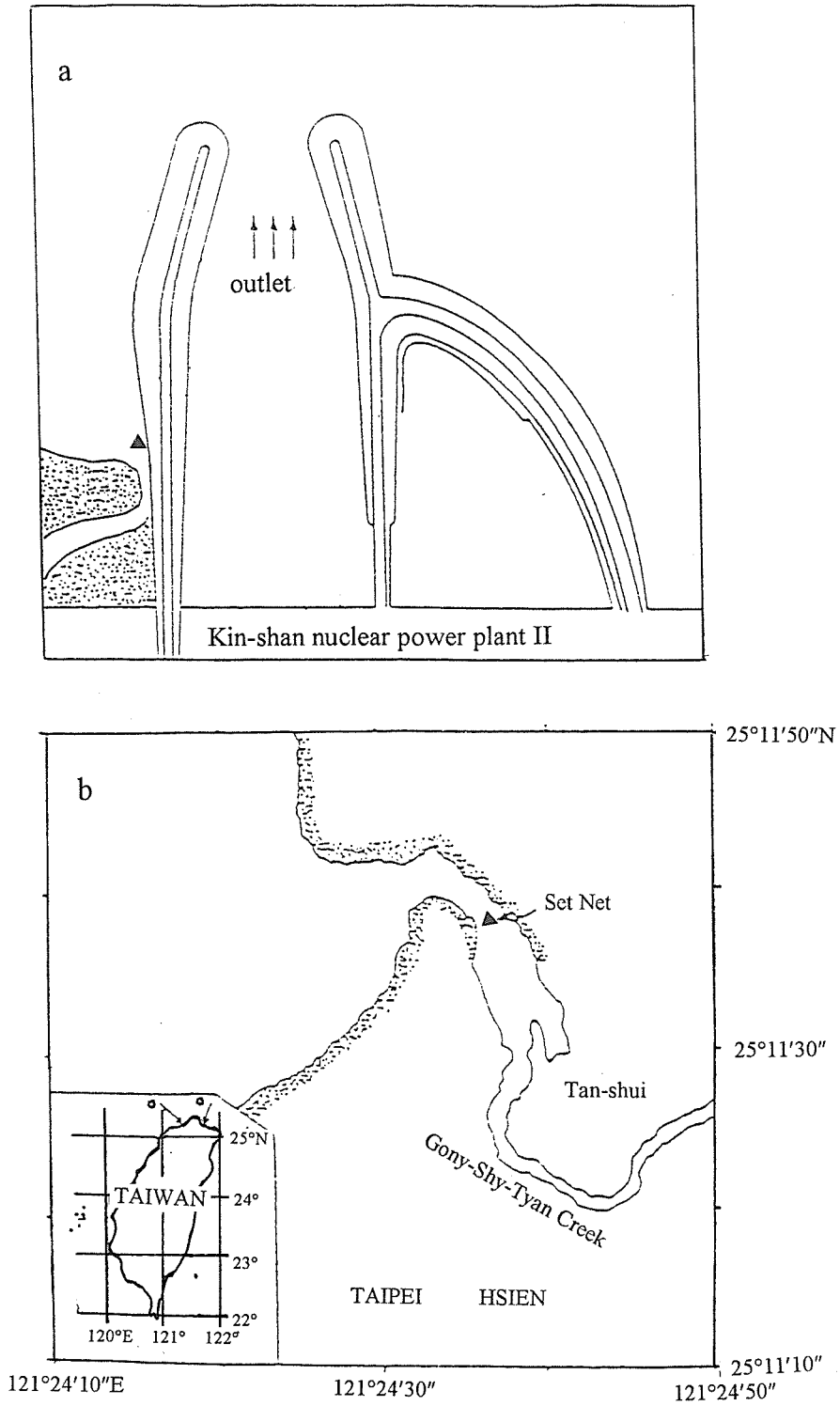


Fig. 1. Sampling sites (solid triangles) of thornfish at the outfall of the Kin-Shan nuclear power plant(a) and in the estuary of the Gong-Shy-Tyan Creek(b), northern Taiwan.

各取出 5 尾魚固定，爾後每隔 5 日分別取樣一次，每次取樣 5 尾魚，飼育時間總共為 26 天。取樣時，同時監測水溫。

### 三、體長、體重及耳石長度的測量

將採獲的標本以活魚袋運回實驗室後，即測量體長及體重。由於畸型花身雞魚脊柱彎曲多發生在尾鰭基部之前，所以選用標準體長 (Standard length, SL)。因福馬林保存溶液會溶解耳石，故以 95 % 的酒精溶液保存標本 (Victor, 1986)。首先根據脊柱是否彎曲 (Fig. 2)，將標

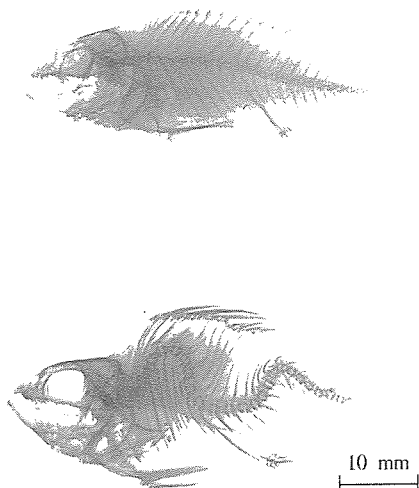


Fig. 2. X-ray photographs of the vertebral columns of the normal (upper, 49mm SL) and deformed thornfish (lower, 51mm) collected at the thermal effluent outfall of Kin-Shan nuclear power plant.

本分為正常及畸型魚兩組 (曾等, 1995)，再分別取耳石。

在解剖顯微鏡下，以鑷子剝開花身雞魚的鰓蓋、去除鰓耙後，即可發現腦室下端前庭 (vestibule) 中的三對耳石。三對耳石分別位於小囊 (sacculus)、壺 (lagena) 及通囊 (utricle) 內 (Secor et al., 1992)。一般以最大的矢狀石 (sagitta) 來判讀魚類的日齡。矢狀石朝

魚體的內側面之表面，呈凹陷狀，是神經末梢的接觸點，稱之為 sulcus。其前側突起稱為 rostrum。由 sulcus 及 rostrum，即能判別是左邊或右邊的矢狀石 (Secor et al., 1992)。耳石取出後，以清水或酒精稍微沖洗並去除剩餘的組織，接著置於室溫下風乾。然後利用光學顯微鏡、電腦及影像處理系統 (Video-microscope-IBM/PC image analyser system, LV2 Plus V3.20) 測量耳石長度 (Fig. 3)。左、右兩顆耳石的形狀、

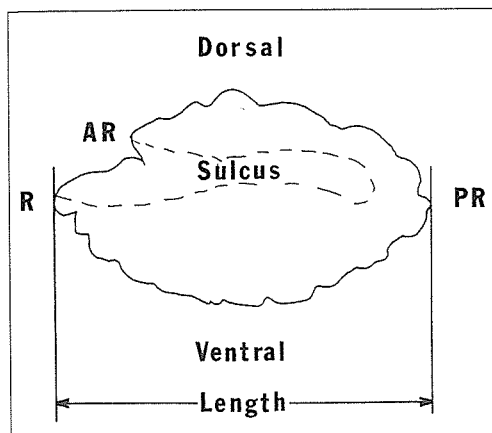


Fig. 3. Measurement of otolith length, (AR, Antirostrum; PR, Postrostrum; R, Rostrum) (after Secor et al., 1992),

大小一致，測量時可任選其一。

### 四、日輪判讀及日齡估算

因花身雞魚的耳石太厚，透光度不佳，日輪判讀不易，必須經樹脂包埋、研磨、酸腐蝕等處理之後，才能看清楚日輪。其處理方法是參照 Tzeng (1990)、Tzeng and Tsai (1992)、魏 (1995) 及 Cheng and Tzeng (1996) 等之報告。經過腐蝕處理後，可在光顯下直接觀察日

輪；或透過影像處理系統的數位化處理後，直接用熱感應紙照相後判讀日輪；或在光學顯微鏡下，使用 TX-100 黑白微粒底片照相，以突顯 hyaline zone 及 opaque zone 的對比，然後從相片來判讀日輪。魏 (1995) 已證明花身雞魚的耳石每天形成一輪。因此，由耳石的日輪數，可估算花身雞魚的日齡。光學顯微鏡的解晰度大約  $0.2\mu\text{m}$  (Campana and Neilson, 1985; Jones, 1986)，爲了避免因解晰度不足，而造成日輪數低估之現象，部分標本利用掃描式電子顯微鏡 (SEM) 觀察耳石的外形及日輪的微細構造。SEM 觀察用的耳石標本除了前述處理外，還必須鍍上一層金箔 (coating)，以增加導電度，使電子束易反射形成影像。

#### 五、花身雞魚進入核二廠排水口的時機之判定及驗證

假如耳石的成長會因魚類棲息環境的改變而改變的話，則由耳石的輪紋及日輪寬度變化可以查覺，例如後述結果 Figs. 7, 8 的 A 部分耳石，經證明是花身雞魚進入核二廠排水口之前形成的，B 部分則是進入之後形成的。證明方法是利用淡水地區剛剛進入河口域的花身雞魚的耳石來加以比對。比對項目包括耳石最大半徑 (R)、日輪數 (DGI) 及耳石平均成長率 (即平均輪寬， $\text{MIW} = R \div \text{DGI}$ )。

#### 六、資料分析

以相對成長式 (Allometric growth equation,  $W=aL^b$ ) 分別模擬花身雞魚的體長與體重、耳石長度之關係。並將該成長式以對數轉換成迴歸直線後，以變積分析法 (analysis of covariance) 檢定不同迴歸直線之間的差異性。以  $t$ -test 檢定正常及畸型花身雞魚的平均體長以及平

均輪寬 (MIW) 的差異性。以上的分析分別採用 STATGRAPHIC Version 4.0、SAS 及 Microsoft excel 5.0 統計軟體來執行。

## 結 果

### 一、正常與畸型魚的體長分佈

1995 年 7 月至 9 月間於金山核二廠排水口岩礁區，以手釣採獲的樣本，其體長範圍爲 29-77mm SL。根據脊柱是否彎曲分爲正常與畸型花身雞魚之後，分別統計其體長頻度分佈 (Fig. 4)。結果發現，兩者之體長頻度分佈，皆爲正偏歪分佈 (positive skewed distribution)，型量 (mode) 分別爲 35 及 45mm SL，其體長分佈經對數轉換爲常態分佈後，以  $t$ -test (單尾) 檢定結果，正常魚的平均標準體長 (56.40mm SL) 與畸型魚者 (43.21mm SL) 有顯著性差異 ( $p < 0.001$ )。

### 二、體長、體重及耳石之成長趨勢

淡水沙崙地區以河川張網所採獲的花身雞魚，其標準體長範圍爲 10~13mm SL，平均爲  $11.65 \pm 0.82\text{mm SL}$ 。在 26 天的飼育期間，不論是實驗組 (39 °C) 或對照組 (約 30 °C 左右)，其體長、體重及耳石均呈逐漸成長現象。實驗組於最後二次取樣的體長、體重均明顯小於對照組，但耳石的成長則不然 (Fig. 5)。

### 三、體長與體重關係

#### (一) 飼育部分

沙崙河口地區所採集的花身雞魚，在 26 天的飼育中，其標準體長 (SL, mm) 和體重 (W, g) 變化之關係，以相對成長式擬合結果如下：

實驗組： $W = 7.47 \times \text{SL}^{2.56} \times 10^{-10}$  ..... (1)

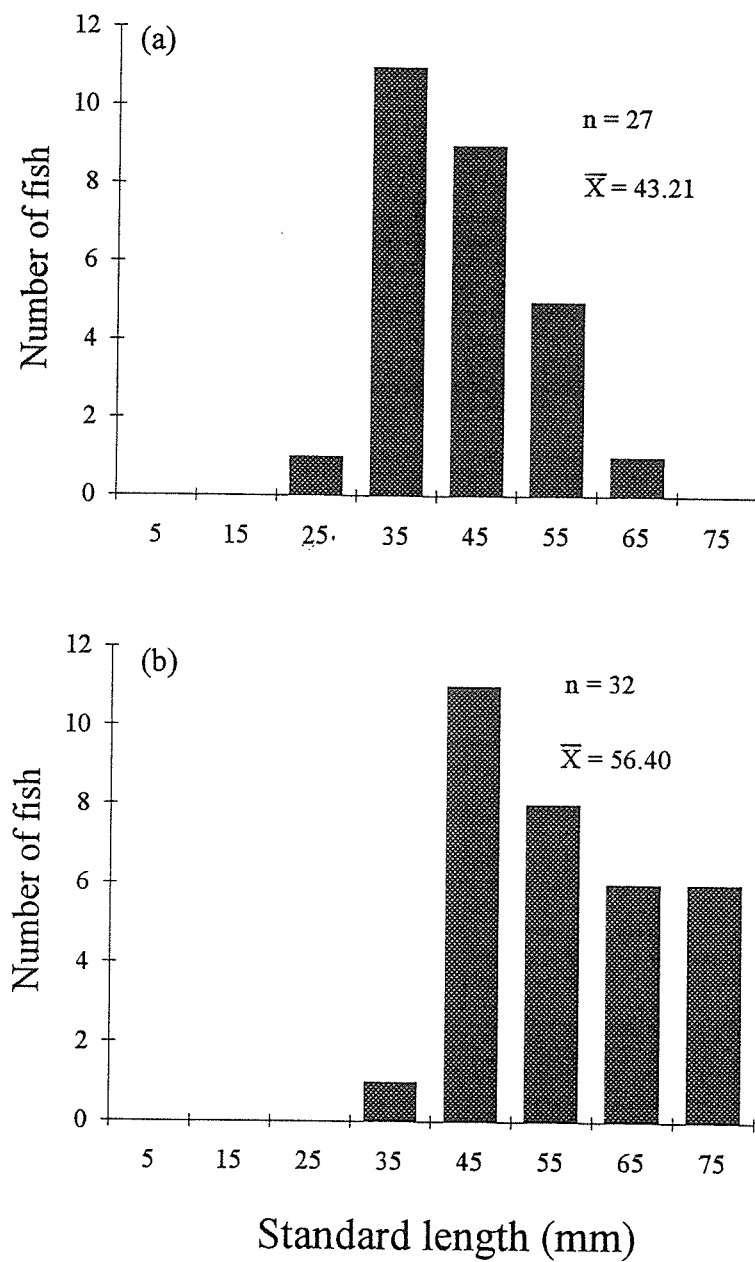


Fig. 4. Length frequency distribution of deformed (a) and normal (b) thornfish collected in the nearshore of Kin-Shan nuclear power plant, 8 July 1995.

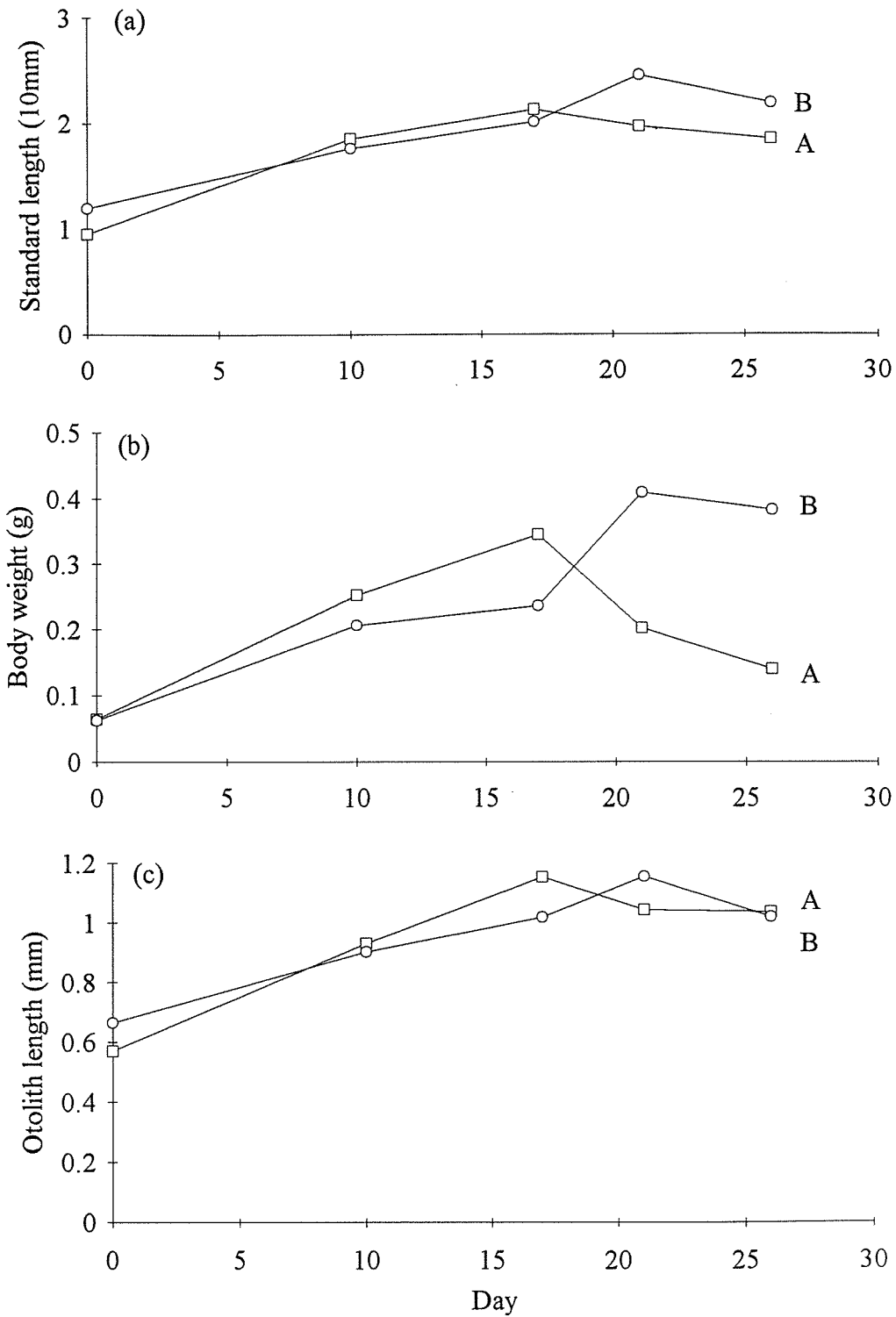


Fig. 5. Relationships between means of standard length (a), body weight (b) and otolith length (c) of thornfish and rearing time at 39°C (A) and 30°C (B, control).

$$(n=25, \quad r=0.92)$$

$$\text{對照組: } W=4.41 \times SL^{2.67} \times 10^{-10} \dots\dots(2)$$

$$(n=24, \quad r=0.97)$$

兩式分別以對數轉換成直線後，經變積分析比較結果，斜率、截距皆無顯著性差異 ( $p>0.05$ )。因此兩組合併計算如下：

$$W=4.73 \times SL^{2.64} \times 10^{-10} \dots\dots(3)$$

$$(n=49, \quad r=0.95)$$

## (二) 核電廠出水口部分

金山核二廠出水口附近採獲的花身雞魚的標準體長 (SL,mm) 和體重 (W,g) 之相對成長關係如下：

$$\text{畸型魚: } W=4.66 \times SL^{3.27} \times 10^{-12} \dots\dots(4)$$

$$(n=27, \quad r=0.89)$$

$$\text{正常魚: } W=1.30 \times SL^{2.62} \times 10^{-9} \dots\dots(5)$$

$$(n=32, \quad r=0.98)$$

經變積分析比較結果，兩式之斜率、截距皆無顯著性差異 ( $p>0.05$ )。故將兩者合併計算如下：

$$W=1.25 \times SL^{2.88} \times 10^{-10} \dots\dots(6)$$

$$(n=59, \quad r=0.94)$$

## 四、體長與耳石長度之關係

金山核二廠出水口附近採獲的花身雞魚的標準體長 (SL,mm) 和耳石長 (OL,mm) 之相對成長關係如下：

$$\text{畸型魚: } OL=3.18 \times SL^{0.61} \times 10^{-2} \dots\dots(7)$$

$$(n=10, \quad r=0.95)$$

$$\text{正常魚: } OL=4.33 \times SL^{0.82} \times 10^{-3} \dots\dots(8)$$

$$(n=10, \quad r=0.96)$$

兩式分別以對數轉換成直線後，經變積分析比較結果，斜率無顯著性差異 ( $p>0.05$ )，但截距卻有顯著性差異 ( $p<0.05$ )。顯示在相同體長下，畸型魚的耳石長度明顯大於正常者。

## 五、耳石形態及日輪構造

花身雞魚的矢狀石為卵圓形，其內側

面 (sulcus 面) 的凹陷部分 (Fig. 6a,b)，是神經末梢的接觸點。畸型魚耳石表面常出現不規則的瘤狀突起，瘤狀突起是由許多小的柱狀突起所構成 (Fig. 6c,d)。

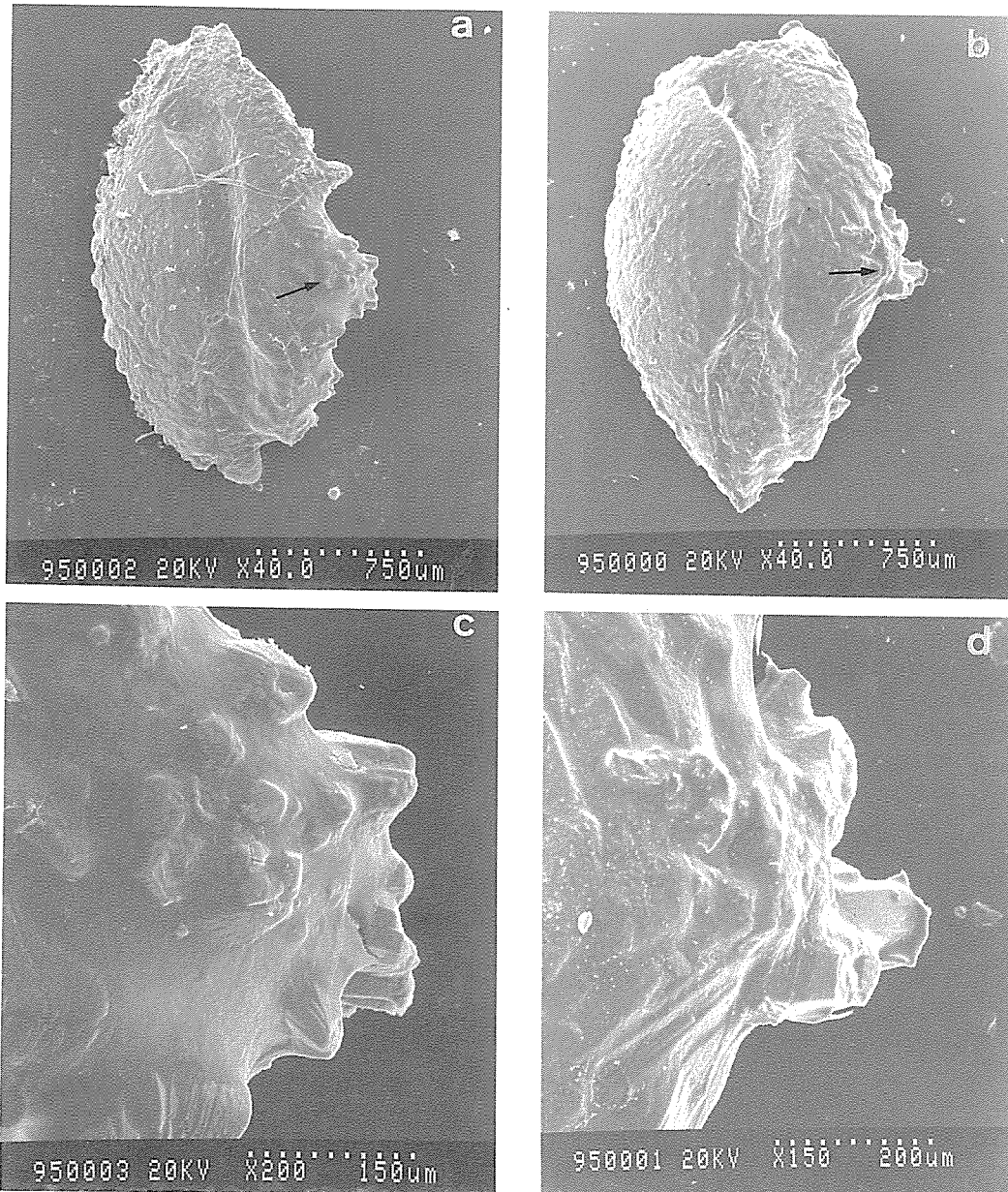
耳石的中心點稱之為 primordium，是耳石的起始成長點，圍繞著 primordium 部分稱之為 nucleus，是卵黃囊期形成的。一般孵育時間較短的魚類，nucleus 內不會有日輪。日輪是仔魚開始攝餌後形成的，每一組日輪由一生長帶 (incremental zone, IZ) 和一不連續帶 (discontinuity zone, DZ) 所構成，在光學顯微鏡之下以透射光觀察，呈現明暗現象 (Fig. 7)。

自然環境下的花身雞魚，其耳石的日輪很明顯，且輪與輪之間的距離很一致 (Fig. 7 的 A 部分)，而在飼育期間新增部分的日輪之輪距則相差很大，意味著飼育環境的干擾較大 (Fig. 7 的 B 部分)。

當自然環境有所變化時，耳石的形態也會隨著變化，例如 1995 年 7 月 8 日，採自金山核二廠排水口附近的畸型魚，其耳石內圈的日輪為完整的同心圓 (Fig. 8 的 A 部分)；而外圈的碳酸鈣結晶呈現放射狀或參差交錯的排列，日輪不規則，且出現新的複核心 (accessory primordium)，使耳石呈現多核心狀態 (Fig. 8 的 B 部分)。

## 六、耳石半徑、日輪數及平均輪寬

金山核二廠排水口附近的花身雞魚耳石的內圈 (Fig. 8 的 A 部分) 的最大半徑 ( $206 \pm 24 \mu\text{m}$ ) 與沙崙河口域捕獲者的耳石最大半徑 ( $250 \pm 37 \mu\text{m}$ ) 很接近 (Table 1)，以 *t*-test (單尾) 檢定結果，兩者無顯著性差異 ( $p>0.05$ )。因此推測 Fig. 8 的內圈 (A 部分) 應該是花身雞魚進入核二廠排水口之前形成的。而



**Fig. 6.** SEM microphotographs of the otoliths of two deformed thornfish (a, 42.91mm SL; b, 46.03mm; c & d, magnification of a & b; arrows, abnormal parts).

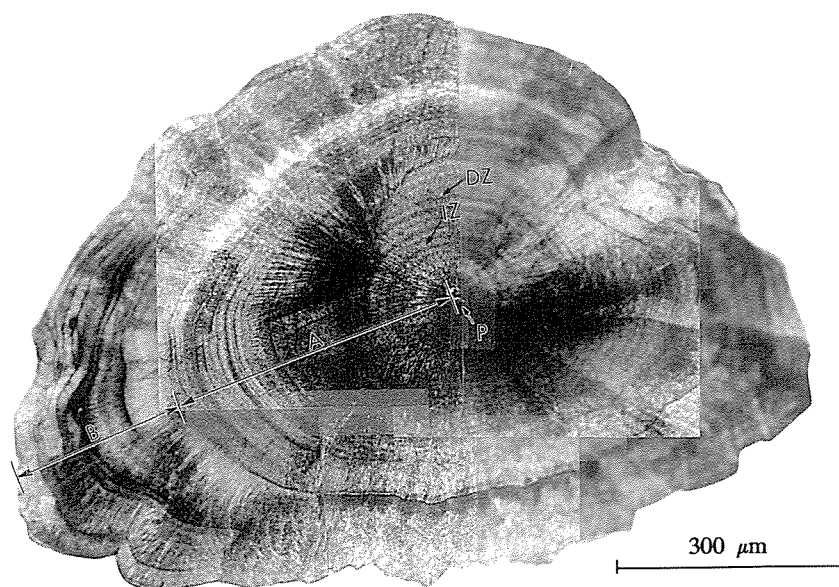


Fig. 7. Microphotograph of daily growth increments in otolith of thornfish (18.08mm SL) collected from the estuary of Gong-Shy-Tyan Creek and reared in room temperature (30°C) for 17 days (A, deposited during wild life period; B, during laboratory-reared period; IZ, Incremental zone; DN, Discontinuity zone; P, Primordium).

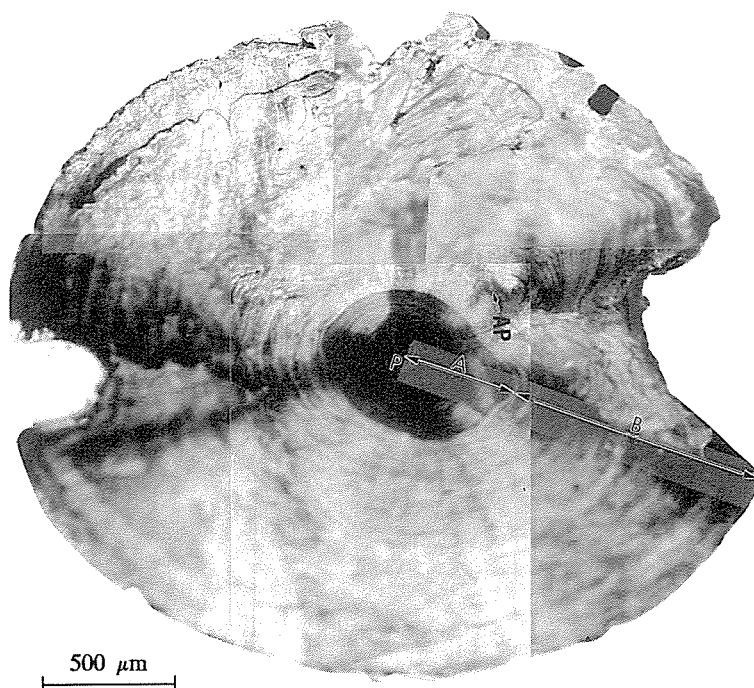


Fig. 8. Microstructure of the otolith of deformed thornfish (61.65 mm SL) collected at the outfall of Kin-Shan nuclear power plant, 8 July 1995 (Part A, assumed to be deposited in the offshore life; B, deposited at the outfall life; P, Primordium; AP, Accessory primordium).

外圈(B 部分)，則是停留在排水口期間形成的，其中的不規則輪紋，可能是高溫的異常環境所造成的。

沙崙河口域捕獲的花身雞魚的耳石總輪數平均( $\pm$  S.D.) 為  $20 \pm 2$ 。金山核二廠排水口附近的正常花身雞魚耳石的內、外圈輪數分別為  $18 \pm 4$  及  $39 \pm 8$ ，畸型者則分別為  $16 \pm 3$  及  $27 \pm 6$ ，正常與畸型者合計之後平均為  $17 \pm 4$  及  $33 \pm 7$ (Table 1)。

金山核二廠排水口附近的花身雞魚耳石的內圈平均輪寬及淡水沙崙地區花身雞魚仔稚魚耳石的平均輪寬，分別為  $12.75 \pm 3.94 \mu\text{m/day}$  及  $12.64 \pm 3.90 \mu\text{m/day}$ ，以 *t*-test(單尾)檢定結果，兩者沒有顯著差異( $p > 0.05$ )，顯示兩地區在仔稚魚階段，其耳石的初期成長速率相似(Table 1)。

金山核二廠排水口附近的正常及畸型花身雞魚耳石內圈平均輪寬，以 *t*-test(單尾)檢定結果，也沒有顯著性差異( $p > 0.05$ )。顯示畸型魚與正常魚進入排水口之前，其耳石成長速率相似。但是正常或畸型魚耳石的平均輪寬，外圈與內圈之間有顯著性差異( $0.01 < p < 0.05$ )。

換言之，進入核二廠附近沿岸域後，其耳石的成長加快。又正常與畸型花身雞魚的耳石外圈平均輪寬有極顯著性差異( $p < 0.01$ )，顯示在沿岸域生長期間畸型魚耳石的成長速率比正常者快(Table 1)。

## 討 論

### 一、水溫對體成長及耳石成長的影響

採自沙崙河口域的花身雞魚，因實驗期間短，以致未出現脊柱彎曲現象，但由成長曲線觀之，實驗組( $39^\circ\text{C}$ )的體長及體重於最後二次取樣的平均標準體長均明顯小於對照組(約  $30^\circ\text{C}$  左右)，顯然實驗組的高水溫環境，易造成不良成長(Fig. 5a,b)。高水溫時，攝餌情況不佳、魚體代謝率高、餌料生物的維生素 C 容易破壞、膠原蛋白的合成及維持受阻，這些都會影響魚體的軟骨質及結締組織的發育及生長(邵及黃，1995)。

在耳石成長方面，實驗組與對照組之間並沒有太大的差別，顯然實驗組的高水溫不致於影響耳石的成長(Fig. 5)。耳石的成長，為類似礦物形成結晶的增生，由碳酸鈣結晶與有機質交互沈積而成，通

**Table 1.** Means ( $\pm$  S.D.) of otolith radius, daily growth increment (DGI) and increment width (MIW) of the otolith of normal and deformed thornfish collected from Kin-Shan nuclear power plant outfall (KS) and the estuary of Gong-Shy-Tyan Creek (GST), northern Taiwan. Sections A and B refer to Figs. 7 & 8.

| Sampling site | Vertebral column | Sample size | Otolith radius ( $\mu\text{m}$ ) |               | DGI (day)  |            | MIW ( $\mu\text{m/day}$ ) |                  |
|---------------|------------------|-------------|----------------------------------|---------------|------------|------------|---------------------------|------------------|
|               |                  |             | A                                | B             | A          | B          | A                         | B                |
| KS            | Normal (a)       | 18          | $208 \pm 27$                     | $557 \pm 151$ | $18 \pm 4$ | $39 \pm 8$ | $11.74 \pm 2.30$          | $15.11 \pm 4.90$ |
|               | Deformed (b)     | 16          | $204 \pm 19$                     | $570 \pm 68$  | $16 \pm 3$ | $27 \pm 6$ | $13.88 \pm 5.20$          | $21.65 \pm 7.12$ |
|               | a + b            | 34          | $206 \pm 24$                     | $563 \pm 112$ | $17 \pm 4$ | $33 \pm 7$ | $12.75 \pm 3.94$          | $18.19 \pm 5.97$ |
| GST           | Normal           | 10          | $250 \pm 37$                     |               | $20 \pm 2$ |            | $12.64 \pm 3.90$          |                  |

常其成長率不受體成長減緩的影響 (Bailey and Stehr, 1988; Carlstrom, 1963; Jones, 1986; McGurk, 1980, 1984; Simkiss, 1974; Morales-Nin, 1987; Tzeng and Yu, 1992)。

畸型魚的體長與體重關係，與正常者之間並無顯著性差異。顯示畸型魚雖然脊柱彎曲而體長受到壓縮，但長-重的比例關係，並沒有因此而改變。金山核二廠排水口沿岸的正常花身雞魚的體長-體重關係，其指數低於理想的 3 次方，顯然有不良的成長現象，其原因可能如前述，因水溫過高所致。依據邵及黃 (1995) 在 2 個月的室內人工蓄養試驗，發現花身雞魚成長狀況以 32 °C 為最佳，其次為 28 °C，而 36 °C 時則成長不佳，顯示花身雞魚的成長有其適溫範圍。亦即長期處在高溫環境下，可能會因代謝速率過高而導致成長速率遲緩。金山沿岸海域的海水溫度，長期受到核能電廠排放熱廢水的影響，夏季水溫常高達 37 °C (魏, 1995)。異常高溫，可能是花身雞魚成長不良之原因。

## 二、生活履歷及其耳石成長

金山核二廠排水口所採獲的正常及畸型花身雞魚的耳石內圈平均輪數分別為  $18 \pm 4$  及  $16 \pm 3$  (Table 1)，顯示兩者大約在同一時期進入排水口附近海域。花身雞魚大約在孵化後 3~5 日 (平均 4 日) 形成第一圈日輪 (魏, 1995)，因此花身雞魚進入排水口附近海域時的實際日齡應該是孵化後的第 20~22 天。正常及畸型魚的耳石外圈平均輪數分別為  $39 \pm 8$  及  $27 \pm 6$ ，顯示畸型花身雞魚的平均日齡有偏小的情形 (Table 1)。日齡偏小的情形也反映在體長組成上 (Fig. 4)。而偏小的情形，可能與畸型魚容易死亡有關。

金山核二廠排水口花身雞魚的耳石內

圈半徑及平均輪寬與淡水沙崙地區的花身雞魚沒有顯著性差異 ( $p > 0.05$ ) (Table 1)。由此可證明其內圈 (如 Fig. 8 的 A 部分) 是進入排水口之前形成的。同時，兩地區的耳石成長速率一致，這可能意味著兩地區的仔稚魚是來自同一族群，或者來自相同的環境條件。事實上，金山與沙崙在地理上很接近，來自同一族群的可能性很高。

當魚類的棲息環境有所變化時，攝餌條件也隨著改變，於是耳石的輪紋形態及日輪寬度會產生變化 (Victor, 1982; Radtke et al., 1988; Fowler, 1989; Brothers, 1990)。所以由耳石的形態變化及日齡的查定可以回推其生活履歷。畸型花身雞魚受到高水溫環境的影響，除了外形上和正常魚有所不同外，其耳石的成長率也不一樣。正常花身雞魚耳石內圈及外圈的平均輪寬分別為  $11.74 \mu\text{m/day}$  及  $15.11 \mu\text{m/day}$ ，而畸型花身雞魚耳石內圈及外圈的平均輪寬分別為  $13.88 \mu\text{m/day}$  及  $21.65 \mu\text{m/day}$ 。兩者皆顯示其進入沿岸區後，耳石成長速率加快 (Table 1)。

## 三、體成長與耳石成長的不偶合現象

核二廠排水口的畸型魚的耳石與體長的相對成長式的截距比正常者大，顯示畸型魚耳石的成長比正常者快。為了瞭解其原因，進一步比較正常及畸型花身雞魚進入排水口之後的成長情形 (即耳石外圈的平均輪寬)，結果發現畸形魚的耳石成長速率 ( $21.65 \mu\text{m/day}$ ) 明顯大於正常者 ( $15.11 \mu\text{m/day}$ ) (Table 1)，證明受高水溫影響較劇烈的畸型魚，其耳石的相對成長速率較快，這種現象稱之為不偶合 (uncoupling) 成長現象 (Mosegaard et al., 1988; Reznick et al., 1989;

Secor and Dean, 1989; Wright et al., 1990)。不偶合成長現象，就是成長慢的魚，有比較大的耳石，其真正機轉至今仍不清楚。本研究的不偶合成長現象之原因，筆者推測可能是畸型魚體長壓縮，造成耳石成長速率相對較快。另一方面，溫度高時血液中二氧化碳的溶解度降低，二氧化碳濃度降低則酸鹼值 (pH) 相對升高，在鹼性溶液中碳酸鈣較易沈澱，以致耳石的增生加快；但是，溫度升高時體成長反而不良 (Fig. 5)。因此，高溫可能是造成 uncoupling 現象的主要原因。

#### 四、未來的展望

耳石有如電腦的唯讀光碟片 (CD-ROM) 一樣，保存了魚類的生活履歷資料，除了本研究所述的方法外，尚可利用電子微探儀的微量元素分析，擷取魚類各個生活史階段在耳石中所保存的生態環境訊息 (Tzeng and Tsai, 1994; 曾, 1995)。相信透過耳石的微量元素分析，還可發掘更多魚類生活史的奧秘。

## 謝 辭

本研究報告是在國科會暑期學生研究計畫 (NSC 85-2815-C002-01-026B 下) 所完成。研究期間，承蒙淡水盧金樹先生協助採集標本，金山范正堂先生及中研院動物所邵廣昭博士及林永祥先生提供畸型魚標本，臺大醫院牙科部陳銓鏐先生指導 X 光機使用技術，臺大動物系漁業生物研究室王友慈先生及吳昭瑩小姐在研究過程中的協助，在此一併致謝。

## 參考文獻

- 林科吉 (1990). 臺灣淡水河口域及鄰近沿海花身雞魚食性之研究。國立臺灣大學漁業科學研究所碩士論文，63 頁。
- 邵廣昭、黃登福 (1995). 畸型魚原因鑑定專案計畫期末報告書 I. 與水溫之關係，4-161 頁。行政院環境保護署。
- 陳兼善、于名振 (1986). 臺灣脊椎動物誌。臺灣商務印書館，1092 頁。
- 曾萬年 (1995). 會寫日記的魚類-從鰻魚耳石的日週輪及微化學分析談起。中國水產，515:19-25。
- 曾萬年、林芳郁、林仁仁 (1995). 畸型魚原因鑑定專案計畫期末報告書 V. 脊柱彎曲形態、染色體核型與基因產物之分析，379-451 頁。行政院環境保護署。
- 繆自昌 (1989). 臺灣北部淡水河口域花身雞魚生殖生物學之研究。國立臺灣大學漁業科學研究所碩士論文，83 頁。
- 魏旭邦 (1995). 由耳石的日成長輪探討沿岸域花身雞魚的日齡及成長。國立臺灣大學漁業科學研究所碩士論文，65 頁。
- Bailey, K. M. and C. L. Stehr (1988). The effects of feeding periodicity and ration on the rate of increment formation in otoliths of larval walleye pollock *Theragra chalcogramma* (Pallas). *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 122: 147-161.
- Brothers, E. B. (1978). Exogenous factors and the formation of daily and subdaily increments in fish otoliths. *Am. Zool.*, 18: 631.
- Brothers, E. B. (1990). Otolith marking. *Am. Fish. Soc. Symp.*, 7: 183-202.
- Brothers, E. B. and W. N. McFarland (1980). Correlations between otolith microstructure, growth and life history transitions in newly recruited french grunt (*Haemulon flavolineatum* (Desmarest), Haemulidae). *Rapp. P.-v. Réun. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.*, 178: 369-374.
- Campana, S. E. (1984). Microstructural growth patterns in the otoliths of larval and juvenile starry flounder, *Platichthys stellatus*. *Can. J. Zool.*, 62: 1507-1512.
- Campana, S. E. and J. D. Neilson (1985). Microstructure of fish otoliths. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 42: 1014-1032.
- Carlstrom, D. (1963). A crystallographic study of vertebrate otoliths. *Biol. Bull. (Woods Hole)*, 125: 441-463.
- Cheng, P. W. and W. N. Tzeng (1996). Timing of metamorphosis and estuarine arrival across the dispersal range of the Japanese eel *Anguilla*

- japonica*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **131**: 87-96.
- Dunkelberger, D. G., J. M. Dean, and N. Watabe (1980). The ultrastructure of the juvenile mummichog, *Fundulus heteroclitus*. *J. Morphol.*, **163**: 367-377.
- Fowler, A. J. (1989). Description, interpretation and use of the microstructure of otolith from juvenile butterflyfishes (Family Chaetodontidae). *Mar. Biol.*, **102**: 167-181.
- Gauldie, R. W. and D. G. A. Nelson (1988). Aragonite twinning and neuroprotein secretion are the cause of daily growth increment deposition in fish otoliths. *Comp. Biochem. Physiol.*, **90**: 501-509.
- Healey, M.C. (1982). Timing and relative intensity of size-selective mortality of juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) during early sea life. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **39**: 952-957.
- Jones, C. (1986). Determining age of larval fish with the otolith increment technique. *Fish. Bull.*, **84**(1): 91-103.
- Jones, C. M. (1992). Development and application of the otolith increment technique, p. 1-11. In *Otolith microstructure examination and analysis* (D. K. Stevenson and S. E. Campana eds.) *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, **117**: 1-11.
- McGurk, M. D. (1980). Effects of delayed feeding and temperature on the age of irreversible starvation and on the rates of growth and mortality of Pacific herring larvae. *Mar. Biol.*, **84**: 13-36.
- McGurk, M. D. (1984). Ring deposition in the otoliths of larval Pacific herring, *Clupea harengus pallasi*. *Fish. Bull.*, **82**: 113-120.
- Miu, T. C., S. C. Lee and W. N. Tzeng (1990). Reproductive biology of *Terapon jarbua* from the estuary of Tanshui River. *J. Fish. Soc. Taiwan*, **17**(1): 9-20.
- Morales-Nin, B. (1987). Ultrastructure of the organic and inorganic constituents of the otoliths of the sea bass. In *The age and growth of fish* (C. Robert and E. Hall Gordon eds.). The Iowa State University Press, 331-343.
- Mosegaard, H., H. Sveding and K. Taberman (1988). Uncoupling of somatic and otolith growth rates in Arctic Char (*Salvelinus alpinus*) as an effect of differences in temperature response. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **45**: 1514-1524.
- Mugiya, Y. (1984). Diurnal rhythm in otolith formation in the rainbow trout, *Salmo gairdneri*: seasonal reversal of the rhythm in relation to plasma calcium concentrations. *Comp. Biochem. Physiol.*, **78**(A): 289-293.
- Mugiya, Y. (1987). Phase difference between calcification and organic matrix formation in the diurnal growth of otoliths in the rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Fish. Bull.*, **85**: 395-401.
- Mugiya, Y., N. Watabe, J. Yamada, J. M. Dean, D. G. Dunkelberger and M. Shimizu (1981). Diurnal rhythm in otolith formation in the goldfish, *Carassius auratus*. *Comp. Biochem. Physiol.*, **68**(A): 659-662.
- Nelson, J. S. (1984). *Fish of the world* (2nd ed.) John Wiley and Sons Inc., New York, 523 PP.
- Pannella, G. (1971). Fish otolith: daily growth layers and periodical patterns. *Science*, N. Y. **173**: 1124-1127.
- Pannella, G. (1980). Growth patterns in fish sagittae. In *Skeletal growth of aquatic organisms* (D. C. Rhoads and R. A. Lutz eds.) Plenum Press, New York and London, 519-560.
- Radtke, R. L., R. A. Kinzie, III and S. D. Folsom (1988). Age at recruitment of Hawaiian freshwater gobies. *Environ. Biol. Fish.*, **23**: 205-213.
- Reznick, D., E. Lindbeck and H. Bryga (1989). Slower growth results in larger otoliths: An experimental test with guppies (*Poecilia reticulata*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **46**: 108-112.
- Saito, S. and J. Yamada (1989). Ultrastructure of the saccular epithelium and the otolithic membrane in relation to otolith growth in tilapia, *Oreochromis niloticus* (Teleostei: Cichlidae). *Trans. Am. Microsc. Soc.*, **108**: 223-238.
- Secor, D. H. and J. M. Dean (1989). Somatic growth effects on the otolith-fish size relationship in young pond-reared striped bass, *Morone saxatilis*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **46**: 113-121.
- Secor, D. H., J. M. Dean and E. H. Laban (1992). Otolith removal and preparation for microstructural examination. In *Otolith microstructure examination and analysis* (D. K. Stevenson and S. E. Campana eds.) *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, **117**: 19-57.
- Secor, D. H., J. M. Dean and S. E. Campana (1995). Recent developments in fish otolith research. University of South Carolina Press, Columbia, South Carolina, 735pp.
- Simkiss, K. (1974). Calcium metabolism of fish in relation to aging. In *Aging of Fish* (T.B. Bagenal ed.). Unwin Brothers, Old Working, 1-12.
- Taubert, B. D. and D. W. Coble (1977). Daily rings in otoliths of three species of *Lepomis*

- and *Tilapia mossambica*. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **34**: 332-340.
- Tzeng, W. N. (1990). Relationship between growth rate and age at recruitment of *Anguilla japonica* elvers in the Taiwan estuary as inferred from otolith growth increment. *Mar. Biol.*, **107**: 75-81.
- Tzeng, W. N. (1995). Recruitment of larvae and juvenile fishes to the Gong-Shy-Tyan River Estuary of Taiwan: Relative abundance, species composition and seasonality. In *Condition of the World's Aquatic Habitats* (N. B. Armantrout and R. J. Wolotira, Jr. eds.). Proceeding of the World Fisheries Congress, Theme 1, Oxford & IBH Publishing CO.PVT.LTD., New Delhi, India, 360-385.
- Tzeng, W. N. and Y. C. Tsai (1992). Otolith microstructure and daily age of *Anguilla japonica* Temminck & Schlegel elvers from the estuaries of Taiwan with reference to unit stock and larval migration. *J. Fish Biol.*, **40**: 845-857.
- Tzeng, W. N. and S. Y. Yu (1992). Effects of starvation on the formation of daily growth increments in the otoliths of milkfish, *Chanos chanos* (Forsskal), larvae. *J. Fish Biol.*, **40**: 39-48.
- Tzeng, W. N. and Y. C. Tsai (1994). Changes in otolith microchemistry of the Japanese eel, *Anguilla japonica*, during its migration from the ocean to the rivers of Taiwan. *J. Fish Biol.*, **45**: 671-683.
- Victor, B. C. (1982). Daily otolith increments and recruitment in two coral-reef wrasses, *Thalassoma bifasciatum* and *Halichoeres bivittatus*. *Mar. Biol.*, **71**: 203-208.
- Victor, B. C. (1986). Duration of the planktonic larval stage of one hundred species of Pacific and Atlantic wrasses (Family Labridae). *Mar. Biol.*, **90**: 317-3256.
- Volk, E. C., R. C. Wissmar, C. A. Simenstad and D. M. Eggers (1984). Relationship between otolith microstructure and the growth of juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) under different prey rations. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **41**: 126-133.
- West C. J. (1983). Selective mortality of juvenile sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) in Babine Lake determined from body-otolith relationships. M. Sc. Thesis, University of British Columbia, Vancouver, B. C. 63pp.

## Correlation between Otolith Growth and Life History of Thornfish *Terapon jarbua* in the Waters Around the Thermal Effluent Outfall of the Kin-Shan Nuclear Power Plant, Taiwan

Feng-Chou Cheng<sup>1</sup>, Yeong-Ming Chang<sup>2</sup> and Wann-Nian Tzeng<sup>2</sup>

(Received May 2, 1996; Accepted June 15, 1996)

Thornfish (*Terapon jarbua* Forsskal) is one of the dominant species of fish in the coastal waters and estuaries of Taiwan. Its larvae and juveniles migrate to these areas during April to October. This study compared the difference in the morphology of otolith between the normal and deformed thornfish collected in the waters around the thermal effluent outfall of the Kin-Shan nuclear power plant and in the estuary of Gong-Shy-Tyan Creek in northern Taiwan. Also, the daily ages and early growth life history of the deformed thornfish were examined. Fish length and otolith length relationship was significantly different between the normal and the deformed, but not for the length-weight relationship. The thornfish migrated to the nearshore waters at the age of approximately 21 days after hatching. The deformity was due to high temperature. Growth of otolith was faster in the deformed than the normal. This leads to uncoupling of somatic and otolith growths for the deformed fish.

**Key words:** *Thornfish, Deformity, Otolith, Growth, Life history.*

---

<sup>1</sup> Department of Dentistry, National Taiwan University, Taipei 100, Taiwan.

<sup>2</sup> Department of Zoology, National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan.