

以標識放流及耳石微化學研究日本鰻的移動行為及棲地利用

林世寰¹ · 張賜玲² · 飯塚義之³ · 陳紫嫻² · 劉富光⁴ · 蘇茂森⁵ · 蘇偉成⁵ · 曾萬年^{1*}

¹ 國立台灣大學漁業科學研究所

² 行政院農業委員會水產試驗所東港生技研究中心

³ 中央研究院地球科學研究所

⁴ 行政院農業委員會水產試驗所淡水繁養殖研究中心

⁵ 行政院農業委員會水產試驗所

摘要

為了瞭解日本鰻在陸地水域中的空間分布、移動情形以及適應行為，本研究採用五種不同的標識方法，包括：(1) 以液態氮烙印鰻魚體表；(2) 以剪鱗標識；(3) 使用氧化四環黴素 (OTC) 與茜素 (ALC) 標記耳石；(4) 以動物晶片植入體內以及 (5) 以微磁鐵金屬編碼標識植入體內。於 2002、2003、2005 以及 2006 年分別以上述五種標識方法，共計標識了 4800 尾鰻線及 2473 尾黃鰻，然後分別釋放於半封閉的大鵬灣 (潟湖) 和開放的高屏溪中、下游。分析標識放流後的回收資料，結果發現日本鰻具有領域行為，放流後鰻魚大都停留在 1 公里範圍內。利用電子微探儀分析耳石中的 Sr/Ca 比，發現日本鰻多數選擇半淡鹹水的河口域為棲息地。

關鍵字：日本鰻、標識放流、Sr/Ca 比、棲地利用

前言

魚類的生活史、洄游行為、棲地利用以及族群動態，是漁業資源保育及管理不可或缺的資訊。標識放流是獲得這些資訊最直接的方法。標識放流回收資料可以用來估計個體的生長、移動行為、洄游路徑、擴散距離、棲地利用，族群的數量、成長率、死亡率和資源的開發率等。另外，配合耳石的微化學分析，還可以重建魚類的洄游環境史。

根據 American Fisheries Society 2008 年 2 月在紐西蘭所舉辦的魚類標識技術國際研討會 (Advances in Fish Tagging & Marking Technology International Symposium, Auckland, New Zealand, 24-28 February 2008)，標識放流方法的應用可分成六大類別：(1) 人造衛星標識 (satellite tags)；(2) 超

音波標識 (acoustic tags & acoustic array)；(3) 傳統的感應式或非電子式標識 (transponder or non-electronic tags)；(4) 化學及生物標識 (chemical & biological markers)；(5) 無線電遙測標識 (radio telemetry) 以及 (6) 資料儲存或檔案紀錄式標識 (data storage tags (DST) or archival tags) (網址：<http://www.fisheries.org/units/tag2008/>)。

在上述的方法中，利用脫離方式 (pop-up) 的 DST，可以紀錄魚類的洄游路徑以及環境資訊，當標識脫離魚體後浮出水面時，標識內所累積各種環境資料的訊號，便可利用微波傳訊的方式將訊息傳送到人造衛星，再傳回到地面的接收站；或是在魚體被回收以後，透過連線，將標識內部資料下載到電腦進行資料分析。這種標識目前已經應用到大型洄游魚類，如鮪魚及鯊魚等，但是由於標識體積太大 (大約 10 cm)，無法應用到體積較小的魚種。體型較小者，目前還是使用傳統感應式或是非電子式的標識，例如以微磁鐵金屬號碼標識 (CWT, coded wire tags) 或是微型動物晶片 (chips) 埋植到魚體內。化學或生物標識是最天然

*通訊作者 / 台北市大安區羅斯福路四段一號, TEL: 02-33662887; FAX: 02-23639570; Email: wnt@mtu.edu.tw

的標識方法，例如利用高鋇 (Sr)、鋇 (Ba) 或是與自然界中比值不相同的同位素溶液浸泡後，可以在魚耳石上留下特殊的元素記號 (Thorrold *et al.*, 2002, 2006; Williamson *et al.*, 2009)，透過質譜儀分析可以辨識這些元素。另外，化學標識方法還包括同位素的使用，其優點是，生物體對於同位素較沒有生理作用上的選擇效應，所標識的信號能夠很忠實的被記錄；缺點則是在使用同位素時必需小心控管，以避免污染自然環境。另外一種標識耳石的方法，是耳石的螢光標識法，利用注射或是浸泡氧化四環黴素 (OTC, Oxy-tetracycline) 或茜素 (ALC, Alizarin complexone) 溶液，可在耳石上形成黃綠色或是紅色的螢光記號。

耳石的天然微量元素標記，是近年來被廣泛應用到魚類洄游研究的方法之一，耳石可以紀錄很多的環境訊息，並且在耳石上的記錄是連續性的，這是其他標識方法所無法取代的，在耳石出現的 31 種元素中，Sr/Ca 比搭配年齡資訊，是重建魚類洄游環境史最常用的方法。耳石的主要成分為 CaCO_3 ，由於 Sr 與 Ca 同是二價的鹼土族元素，化學特性相似，因此 Sr 很容易取代 Ca 而沉積在耳石中。海水中的鋇濃度為 $8.7 \times 10^{-5} \text{ M}$ ，淡水則為 $9 \times 10^{-7} \text{ M}$ ，相差約 100 倍 (Campana, 1999)，而耳石上的 Sr/Ca 比與外在水體中的鹽度則具有高度的正相關性 (Secor *et al.*, 1995; Tzeng, 1996; Kawakami *et al.*, 1998; Lin *et al.*, 2007)。當魚類處於海水時，耳石會出現高 Sr/Ca 比，反之在淡水時則會出現低 Sr/Ca 比，因此耳石上的 Sr/Ca 比可以作為環境的指標。由於這樣的特性，耳石 Sr/Ca 比已經被廣泛應用於研究兩側洄游型魚類 (diadromous fishes) 在海水及淡水環境間的移動過程，例如溯河洄游 (anadromy) 的鮭鱒類 (Kalish, 1990; Howland *et al.*, 2001; Limburg *et al.*, 2001) 與條紋鱸 (Secor and Piccoli, 1996)、降海洄游的淡水鰻 (Tzeng, 2003; Tzeng *et al.*, 2002, 2003; Tsukamoto and Arai 2001; Jessop *et al.*, 2002; Shiao *et al.*, 2003) 及兩棲洄游 (amphidromy) 的蝦虎魚 (Radtke and Kinzie, 1996; Shen *et al.*, 1998; Shen and Tzeng, 2002)。因此耳石上的 Sr/Ca 比，是用來重建魚類在淡水及海水環境間的洄游環境史，相當理想的工具。

日本鰻 (*Anguilla japonica*)，在分類學上，屬於鰻鱺目 (Anguilliformes)、鰻鱺科 (Anguillidae)，

為降海洄游型魚類 (catadromous fishes)，分布在東北亞地區的台灣、中國、韓國以及日本等地。日本鰻的產卵場位在北太平洋馬里亞納群島以西的海域 (Tsukamoto, 1992, 2006; Liao *et al.*, 1996, 1999; Liao, 2001)。鰻魚一生只產一次卵，產完卵後就死亡。卵剛孵化之後的仔魚稱為前柳葉形鰻 (preleptocephalus)，頭大、身體細長，牙齒尖銳而突出，成長十幾天後，牙齒被吸收成細小狀尖牙 (Yu *et al.*, 1993; Tanaka *et al.*, 2001)，隨後體高增加，頭小身體側扁，稱之為柳葉鰻 (leptocephalus)。柳葉鰻適合在洋流中作長距離的漂流，從產卵場隨著溫暖的北赤道洋流 (North Equatorial Current) 往西移動，再順著黑潮往北漂流。4 到 6 個月後，來到東北亞的大陸棚海域，變態為流線型且透明的玻璃鰻 (glass eel)，開始具有主動游泳的能力，並能夠感受鹽度、溫度、化學氣味的差異。玻璃鰻被淡水吸引進入河口、接觸淡水後，體表色素細胞逐漸發育、成為鰻線 (elver)。在河川成長的階段稱為黃鰻 (Yellow eel)，隨著個體不斷發育，逐漸往上游移動，在河川中棲息數年，等到成熟時再轉變成為銀鰻 (Silver eel)，並進行降海洄游產卵，繁衍下一代，完成其生活史 (Ege, 1939; Tesch, 1977)。

雖然過去的研究已經描繪了鰻魚的生活史過程 (Schmidt, 1912)，但有關鰻魚在河川內的移動以及外洋的洄游行為並不是很清楚。曾 (1984) 利用螢光劑標識在即將要溯河的鰻線體表上，以便觀察鰻魚在河口區域的洄游行為。但並未繼續追蹤其溯河之後的行為。Jellyman and Tsukamoto (2002) 利用會脫離的資料儲存標籤 (pop-up Archival tag)，固定在澳洲大鰻 (*A. dieffenbachii*) 的身上，觀察其降海的產卵洄游行為，但是這種標籤體積太大，僅能固定在體型大的澳洲大鰻，如果要固定在體型較小的日本鰻身上，並不可行。Kuo *et al.* (1996) 利用超音波標籤 (ultrasonic transmitter tag) 追蹤降海後日本鰻的洄游行為，但由於此種標識方法受限於標籤內電池的壽命，追蹤的時間也很短暫，而且接收器又必須同步近距離追蹤，標識費用昂貴且費時費工。Thibault *et al.*, (2007) 曾經成功地採用過無線電標籤 (radio tag) 追蹤河川內美洲鰻移動行為，相同方法也應用於歐洲鰻 (Westerberg *et al.*, 2007) 和紐西蘭大鰻 (Boubee *et al.*, 2008) 上。無線電標籤方法雖然好，

但只能侷限在小範圍內，且必須廣設無線電接收器才能定位，標識也是費時費工而且昂貴，追蹤的時間也很有限。所以目前有關黃鰻在河川內的移動行為，所知仍然有限。

本研究採用化學的和傳統的標識方法，來研究河川和潟湖內的鰻魚的移動行為。化學的標記乃是利用耳石的元素組成；而傳統的標記則可簡單區分為體外以及體內標記。體外標記部分，主要是在魚體表面進行烙印、剪鰭或是打洞，以便將來再捕時可以由外觀直接區分標識魚和未標識魚；體內標記則是採用動物晶片以及微磁鐵金屬編碼標籤和耳石螢光標識方法。經由以上各種方法的大量標識後，進行黃鰻在河川內的移動行為及棲地利用等鰻魚洄游訊息的研究，以期提供未來河川內鰻魚資源保育及管理的參考。

材料與方法

一、研究地點

日本鰻標識放流的實驗地點，位於南台灣的大鵬灣及高屏溪水域 (Fig. 1)。大鵬灣是濱臨台灣海峽的一個半封閉性的潟湖，有一個狹窄的進出口與外海相連接，以及兩個水量很小的淡水排入口，灣內的鹽度始終維持在 33 ~ 35 psu 之間，淡水排入口附近的鹽度為 5 ~ 7 psu。高屏溪為南台灣最大的河川，長度有 171 km，河口地區是傳統捕捉鰻魚的作業區域，河口域的鹽度受到潮汐的影響有很明顯的變化 (0 ~ 33 psu)，感潮帶的距離長達 16.8 km。另外，高屏溪河川底層的地形環境相當的不同，可區分成水生植物豐富的草澤、砂質底質、黏土底質以及有洞穴的橋墩等棲地。

二、標識方法

本研究所採用的標識方法，分別說明如下 (在標識前，鰻魚皆經過麻醉處理)：

(一) 傳統的標識方法

1. 體外標識

(1) 液態氮烙印法：

先將刻有英文字母、符號或是數字的金屬模型，置於液態氮中，然後烙印在魚體表面留下標

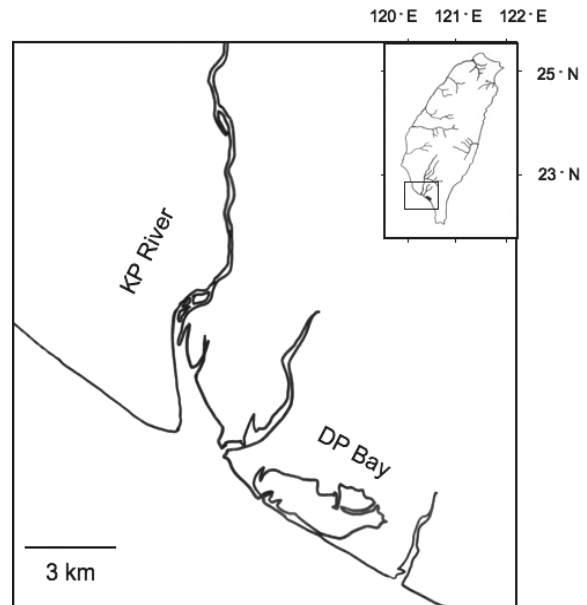


Fig. 1 The Japanese eels were released at sites of Da-pong (DP) Bay and the estuary of the Kao-ping (KP) River in southwestern Taiwan.

記 (Fig. 2a)。優點是經過液態氮處理的鰻魚，短期內可以在體表留下清楚的編碼記號，再捕時可以從外觀清楚地辨識，並且利用編碼的組合可以區別到個體的層次；缺點是液態氮標識後在體表產生的傷痕，大約經過 3 個月後，就會變得模糊不清，因此，較不適合做長期的追蹤。

(2) 剪鰭法：

在不同的鰭部位剪下一片鰭或在鰓蓋上打洞做標記。這也是一種較容易可以直接從外表觀察的方式。不過在經過約三個月的時間，被剪的鰭也會再生，傷口癒合後與意外受傷後的癒合容易混淆，從外觀上不易區別 (Fig. 2d)。

2. 體內標識

(1) 微磁鐵金屬編碼標籤：

標籤長度約 1 mm，可連續編號或是批次編號。使用注射器將標籤植入魚體後放流。再捕時利用掃描器來檢測 (CWT detector: Handheld Wand Detector, NMT - Northwest Marine Technology, USA) (Fig. 2b)。目前已有商業化的標籤及掃描系統，容易操作，可以大量標識。

(2) 動物晶片：

利用注射器將有編碼的晶片標籤植入魚體內

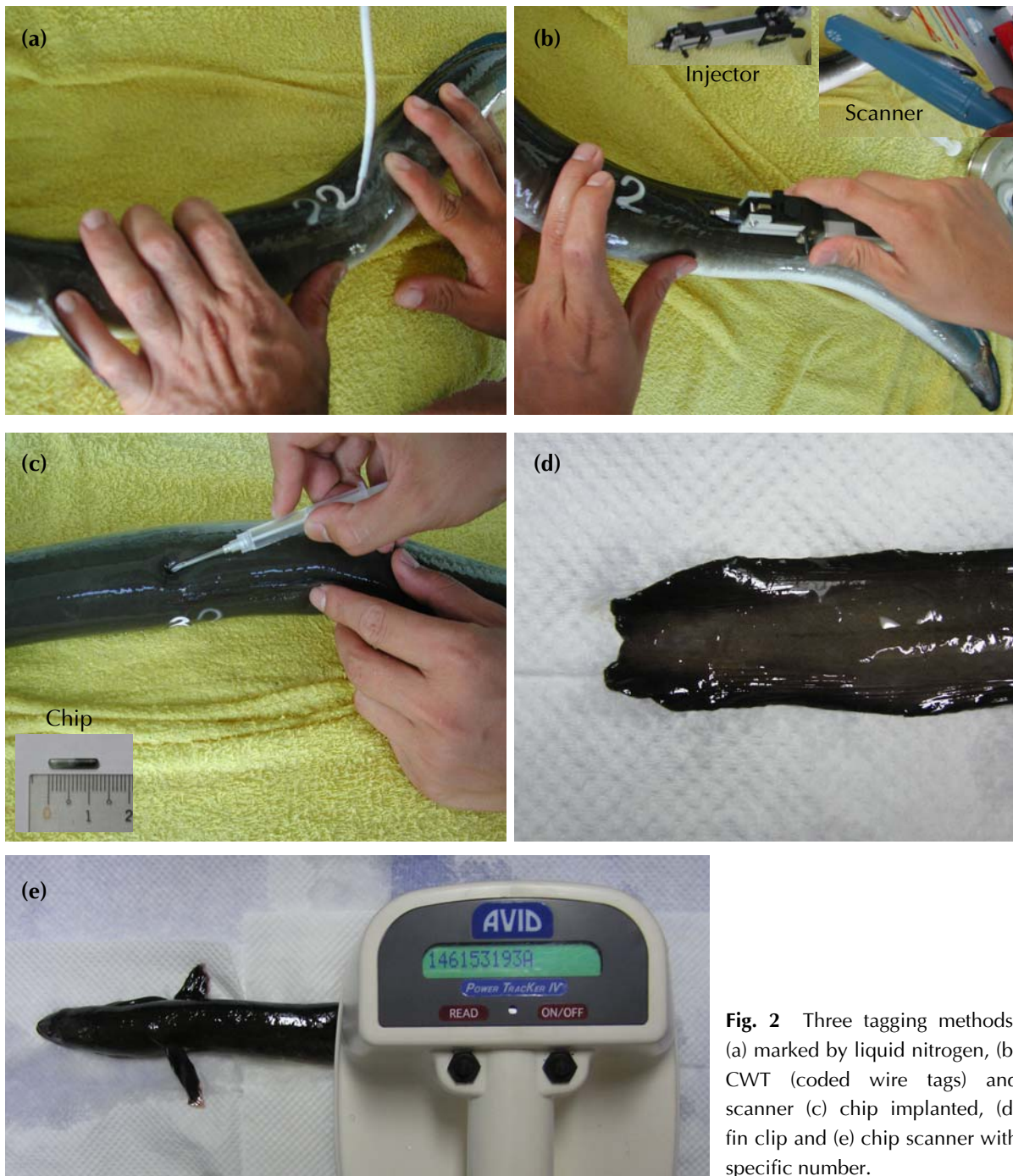


Fig. 2 Three tagging methods: (a) marked by liquid nitrogen, (b) CWT (coded wire tags) and scanner (c) chip implanted, (d) fin clip and (e) chip scanner with specific number.

(Fig. 2c), 鱘魚再捕時利用掃描器辨識晶片標籤 (Chips detector: All Weather Extended Range Multi Tag Reader, AVID, USA) (Fig. 2c, e)。動物晶片優點在於每個晶片都有編碼，可以辨識個體，並且可以重複使用，但缺點是標籤售價高昂，而且標識耗時。

體內標識的微磁鐵金屬編碼標籤以及動物晶片，在注射完成且經過掃描器的確認後，標識率

可以達 100%。

(二) 化學的標識方法 – 耳石標識

1. 前置試驗

黃鱘以每公斤魚體重為基準，分別以 25、50、75 以及 100 ppm 會產生黃綠色螢光的氧化四環黴素 (OTC)，進行腹腔注射。另外，鱘線以紅色的茜素 (ALC)，濃度分別為 15、25、50 及 75 ppm，

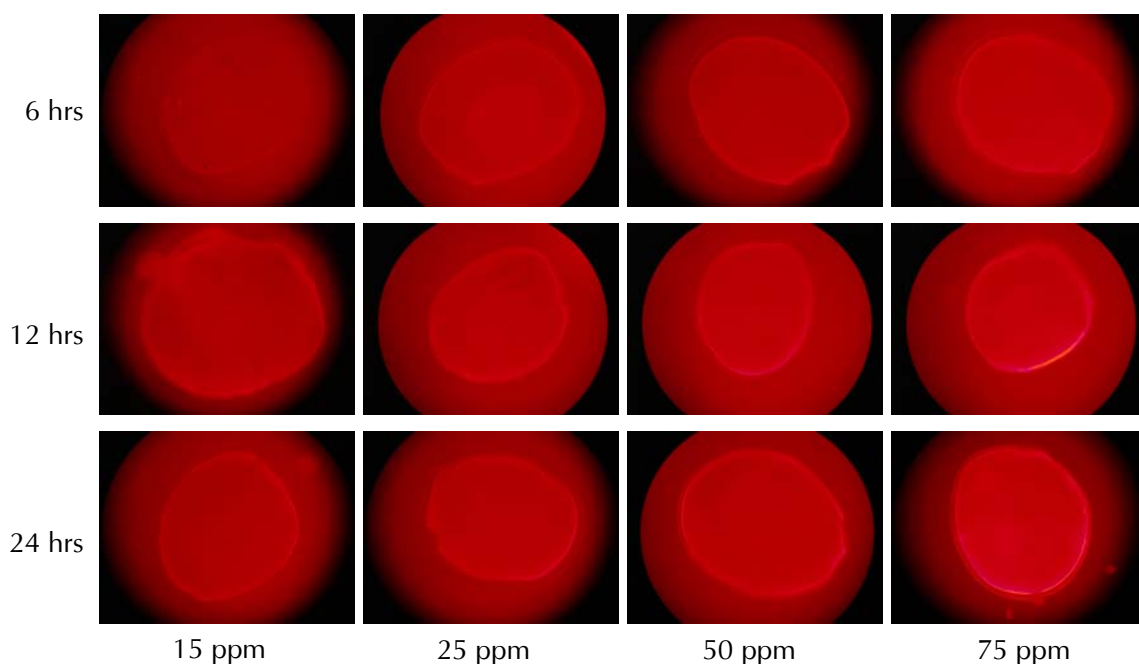


Fig. 3 The red ALC fluorescent marks exhibited by elvers which were immersed in ALC solution at different time periods (6, 12 and 24hrs) and concentrations (15, 25, 50 and 75 ppm). The tagged elvers were then reared for one month.

浸泡 6、12 及 24 小時，飼育一個月後犧牲魚體取出耳石，經包埋、研磨後，以 BV 系列濾光片 (BV-2A, wavelength: EX 400-440 nm, DM 455 nm, BA 470 nm, Nikon) 以及 G 系列濾光片 (G-2A, wavelength: EX 510-560 nm, DM 575 nm, BA 590 nm, Nikon) 分別來檢視 OTC 以及 ALC 的標識效果。

2. 耳石標識

耳石上的螢光記號，是透過光學顯微鏡 (SMZ-10, Nikon)，結合水銀燈泡的上部光源 (HBO-100w/2, Nikon)，搭配螢光濾鏡來觀察。而關於耳石螢光標識的最適當濃度與時間，ALC 無論是以 15、25、50 以及 75 ppm 的濃度浸泡在不同時間下 (6、12 以及 24 小時) 皆能產生清楚的螢光環 (Fig. 3)，但是如果濃度太高，螢光環亮度太高，會影響在顯微鏡下耳石螢光標識位置的判定正確性；而 OTC 以不同的濃度進行腹腔注射，也都可以在耳石上產生清楚的黃綠色螢光環 (Fig. 4)。本實驗分別使用每公斤魚 100 ppm 的 OTC 注射以及 75 ppm 的 ALC 浸泡 12 小時 (Fig. 5)。螢光環記號為實驗的起點，在螢光環 (mark) 到耳石

的邊緣 (edge) 之間的區域 (Fig. 5)，為放流過程中魚體所成長的部分，也就是後續作為分析耳石微量元素的位置。

經過標識處理的鰻魚需先行畜養在養殖池中，等待魚體完全不受麻醉的影響，且恢復活力後，再進行放流，並且保留部分鰻魚作為後續存活率的追蹤觀察。本實驗發現，不論是哪一種標示方法，鰻魚在標識後，隔天的存活率均可以達到 99% 以上，經過一個月後，僅會有少數的個體死亡，整體的存活率亦可以保持在 99%。包含鰻線與黃鰻，共計放流 7273 尾鰻魚。

三、樣本來源及放流數量

標識放流實驗所使用的鰻魚有三種：(1) 養殖鰻，是在屏東地區河口所捕捉的鰻線，在淡水的養殖池中經過 2 年左右的蓄養長大，再經過半淡鹹水馴化半年後，提供本研究使用；(2) 漁民在高屏溪河口使用蛇籠所捕獲的野生鰻 (Table 1)；(3) 鰻線的部份，採用的是新竹頭前溪河口所捕捉的鰻魚。2002~2005 年以及 2006 年高屏溪總計放流了 1350 以及 1123 尾 (鰻線除外) 鰻魚，大鵬灣

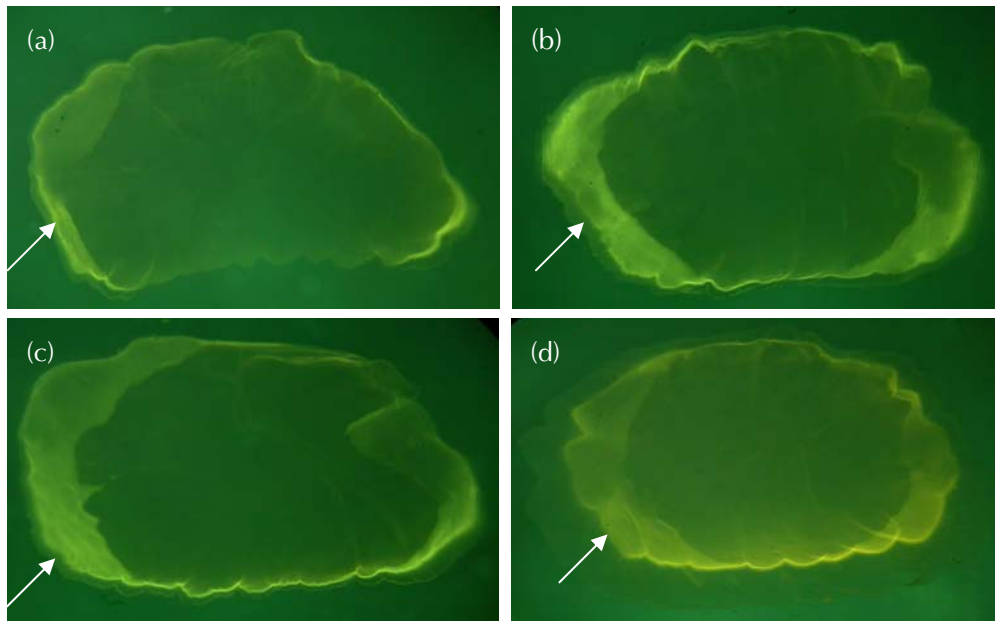


Fig. 4 The yellow OTC fluorescent marks were showed by yellow eels which were injected with OTC solution at dosage (a)25, (b)50, (c)75 and (d)100 ppm of body weight (per kg). arrow: OTC mark.

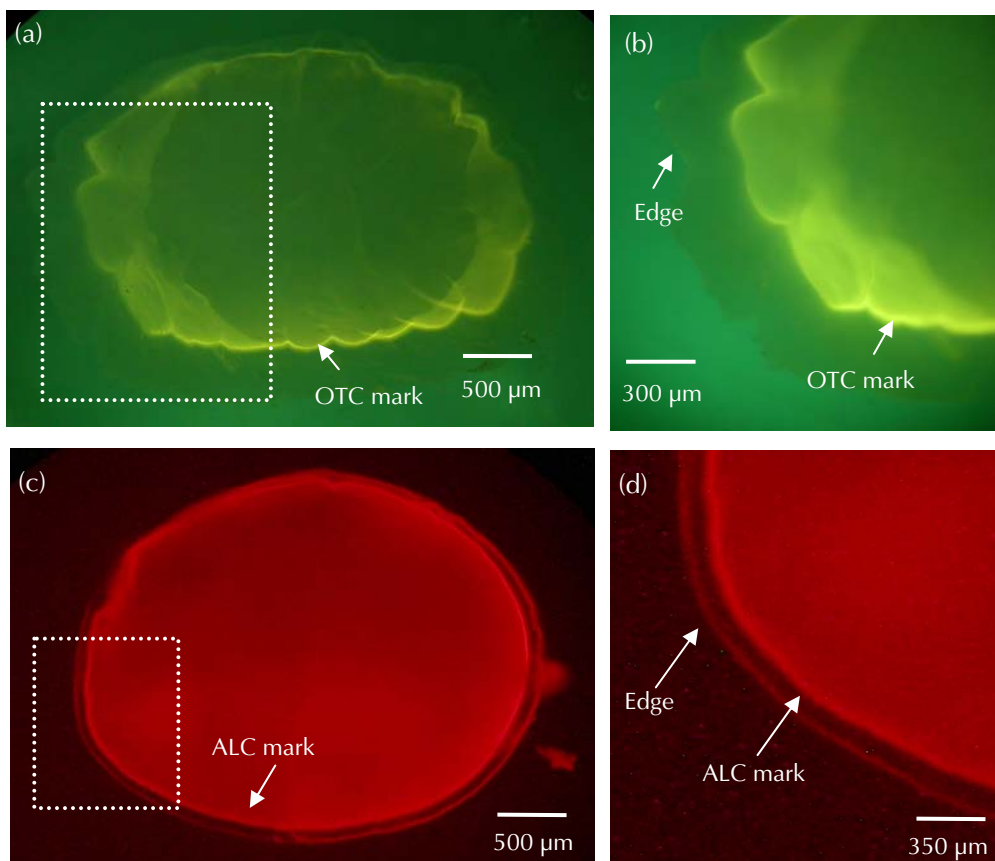


Fig. 5 Oxytetracycline (OTC) and Alizarin complexone (ALC) marks in the otoliths of Japanese eels at release. The new increments between the OTC and ALC marks and the otolith edge were deposited between release and recapture.

Table 1 Sources and numbers of Japanese eels *Anguilla japonica* marked by different methods (Oxytetracycline: OTC, Alizarin Complexone: ALC, coded wire tag: CWT, chip, fin clip, and liquid nitrogen: LN), and released at the south and north coasts of Da-Pong Bay (DP) and the upstream (KP-up) and the downstream (KP-down) of the Kao-Ping River in 2002, 2003, 2005 and 2006

Release date	Release site	Source	No. of eels marked					
			OTC	ALC	CWT	chip	fin clip	LN
Mar. 3, 2002	KP-down	Wild		4800				
Sept. 9, 2003	DP-north	Culture	163		163	163		163
		Culture			500			
Sept. 29	KP-down	Culture			300			
	KP-up	Culture	180		180			
Oct. 7	DP-south	Culture	127			127		
Sept. 28, 2005	KP-down	Culture	500			500	500	
		Wild	152			152	152	
Oct. 3	KP-up	Culture	150			150	150	
Oct. 13	KP-down	Wild	68			68	68	
Aug. 15, 2006	KP-down	Culture	537			537	537	
		Wild	246			246	246	
Aug. 16	KP-up	Culture	100			100	100	
Aug. 25	KP-down	Culture	140			140	140	140
		Wild	55			55	55	55
Aug. 26	KP-down	Culture	40			40	40	40
		Wild	5			5	5	5
Total	DP		290		663	290		163
	KP		2173	4800	480	1993	1993	240

總共放流了 790 尾，各種標識方法的放流數量及放流日期和地點詳如 Table 1。平均體長及體重如 Table 2 & 3 所示。於 2002 年 3 月，在高屏溪下游放流了 4800 尾的鰻線部份，因為沒有回收，所以沒有辦法做後續的追蹤調查。

另外，為了探討日本鰻放流後的擴散距離以及領域行為，使用了 2006 年 8 月 15 日在高屏溪下游水域所放流的 783 尾鰻魚 (Table 3)，放流後經過 10 天於 2006 年 8 月 25 日，在放流點附近水域 7 個採樣點被漁民以蛇籠所捕獲，總計 204 尾鰻魚以進行資料分析。此外，為了探討鰻魚每天最大的擴散距離和方向，這 204 尾鰻魚於當天回

收後，經過基礎資料量測紀錄後，扣除活力不佳的鰻魚，共計有 195 尾鰻魚 (Table 3) 在與 Fig. 7 c 相反的水域進行放流 (Fig. 7 d)。

四、Sr/Ca 比分析

標識放流後再捕獲的鰻魚，測量其體長、體重之後，取出耳石，經包埋、研磨後，利用電子微探儀 (EPMA; JXA-8900R, JEOL) 以每 10 μm 的距離，採穿越線的方式，分析耳石核心至邊緣的耳石 Sr/Ca 比，然後擷取 OTC 標記之後的 Sr/Ca 變化，來分析放流之後的鰻魚移動情形。根據

Table 2 Mean (\pm SD) total length (TL) and body weight (BW) of released Japanese eels, *Anguilla japonica*, in Da-Pong Bay (DP) and the upstream (KP-up) and downstream (KP-down) of the Kao-Ping River in 2002, 2003 and 2005. The recaptured rates (%) were calculated one year after release. Recapture rate (%) = recapture of tagged/ release of tagged \times 100%

Release date	Release site	Source	No. of eel released	No. (%) of eel recaptured	Mean (\pm SD)	
					TL (cm)	BW(g)
Mar. 3, 2002	KP-down	Wild	4800*	0 (0)	5.56 \pm 0.24	
Sept. 9, 2003	DP-north	Culture	163	34 (20.9)	1200	
		Culture	500	59 (11.8)	400	
Sept. 29	KP-down	Culture	300	14 (3)	400	
	KP-up	Culture	180	0 (0)	400	
Oct. 7	DP-south	Culture	127	50 (39.3)	1200	
Sept. 28, 2005	KP-down	Culture	500	25 (5)	69.3 \pm 4.9	508.3 \pm 137.6
		Wild	152	4 (2.6)	69 \pm 4.7	505.5 \pm 129.2
Oct. 3	KP-up	Culture	150	1 (0.6)	68.9 \pm 4.7	495.7 \pm 134.6
Oct. 13	KP-down	Wild	68	0 (0)	44.2 \pm 11.6	116.3 \pm 109.9
Total	DP	2003	790	143 (14.6)		
			4800	0 (0)	5.56 \pm 0.24	
	KP	2003	480	14 (3)		
		2005	870	30 (3.4)	66.2 \pm 10.1	458.2 \pm 183.9

*Only Mar. 3, 2002 were elvers

Table 3 Mean (\pm SD) total length (TL) and body weight (BW) of released Japanese eels, *Anguilla japonica*, in the upstream (KP-up) and downstream (KP-down) of the Kao-Ping River in 2006. The recaptured rates (%) were calculated ten days and one day after release. Recapture rate (%) = recapture of tagged/ release of tagged \times 100%

Release date	Release site	Source	No. of eel released	No. (%) of eel recaptured	Mean (\pm SD)	
					TL (cm)	BW(g)
Aug. 15, 2006	KP-down	Culture	537	146 (27.2)	70.6 \pm 10.6	578.1 \pm 318.8
		Wild	246	58 (23.6)	67.5 \pm 9.6	478.4 \pm 280.1
Aug. 16	KP-up	Culture	100	0 (0)	72.7 \pm 10.2	633.8 \pm 320.7
Aug. 25	KP-down	Culture	140	40 (28.6)	66 \pm 9	433.8 \pm 259.1
		Wild	55	5 (9.1)	62.8 \pm 10.1	356.8 \pm 230.5
Aug. 26	KP-down	Culture	40	2 (5)	64.7 \pm 9	389.2 \pm 223.8
		Wild	5	1 (20)	48.2 \pm 4.4	98.2 \pm 45
Total	KP	2006	1123	252 (22.4)	67.4 \pm 9.8	478.1 \pm 284

Tzeng (1996) 的實驗結果，若耳石 Sr/Ca 小於 4.0×10^{-3} ，則表示鰻魚在淡水水域移動；若高於 4.0×10^{-3} ，則表示在海水移動；若在 4.0×10^{-3} 附近變動，則表示在河口移動。根據耳石的 Sr/Ca 比結果，可以用來區分鰻魚的洄游行為以及生活史

類型，因此也可以對放流材料的養殖鰻以及野生鰻進行生活史的驗證，以及可以用來分析野生鰻的生活史型態，最後可以驗證標識鰻魚在放流過程中的洄游行為。

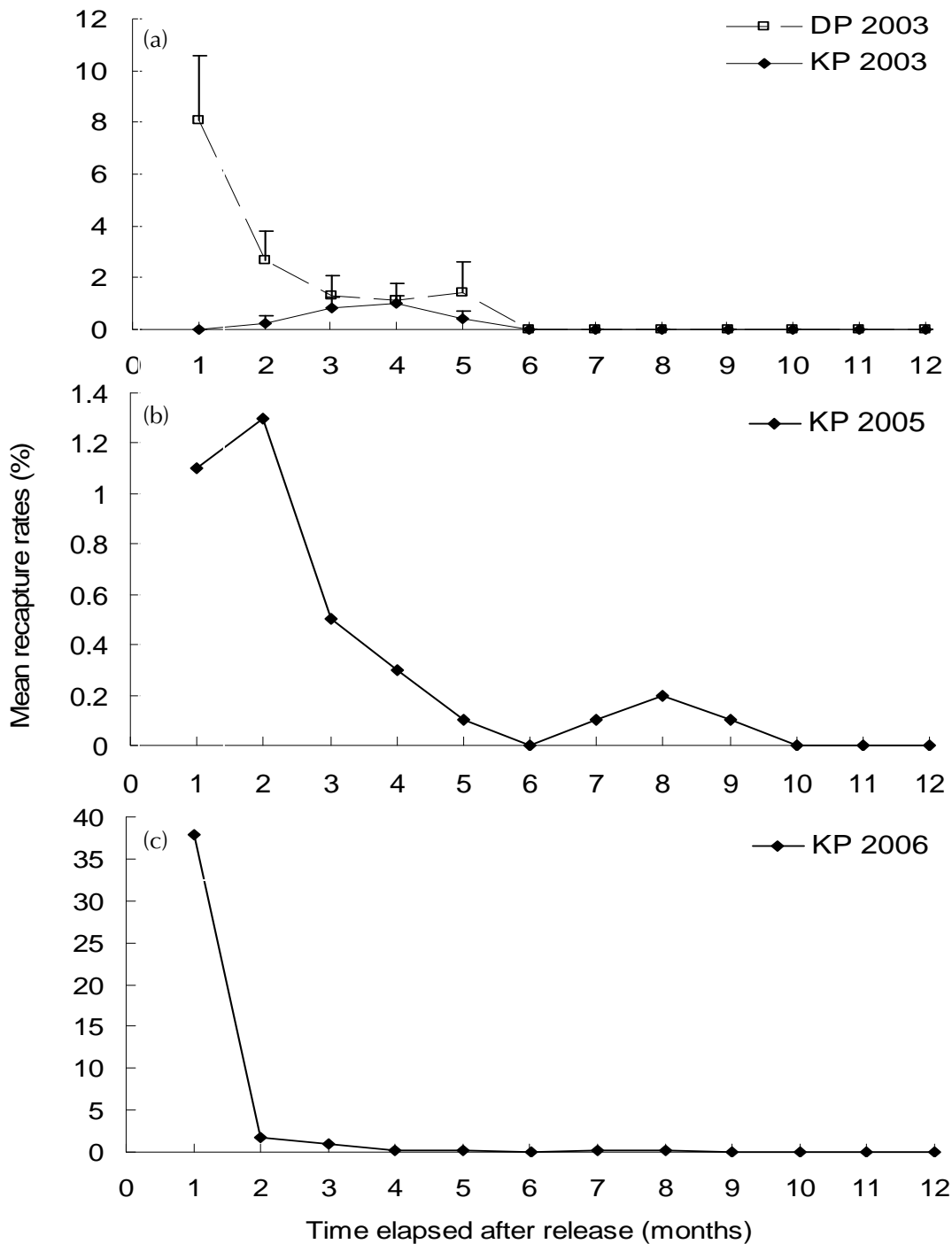


Fig. 6 The monthly change of mean (\pm SD) recapture rates in the first year after release in Da-Pong Bay and the Kao-Ping River in 2003 (a), 2005 (b) and 2006 (c).

五、資料分析

回收率 (%) 分別是計算放流後的 24 小時、10 天以及每個月份 (維持一年) 捕捉回收的標識鰻數量除以標識鰻的總數 (回收率 (%) = 捕捉標識鰻魚/總標識鰻魚 \times 100%)。同時也估計鰻魚在

高屏溪下游，放流 24 小時以及 10 天後的空間分布以及棲地範圍。分析回收率以及累積回收率和距離的關係。回收率在大鵬灣南、北岸以及在高屏溪中、下游先經過對數轉換，再以 *t*-test 來分析其差異性。

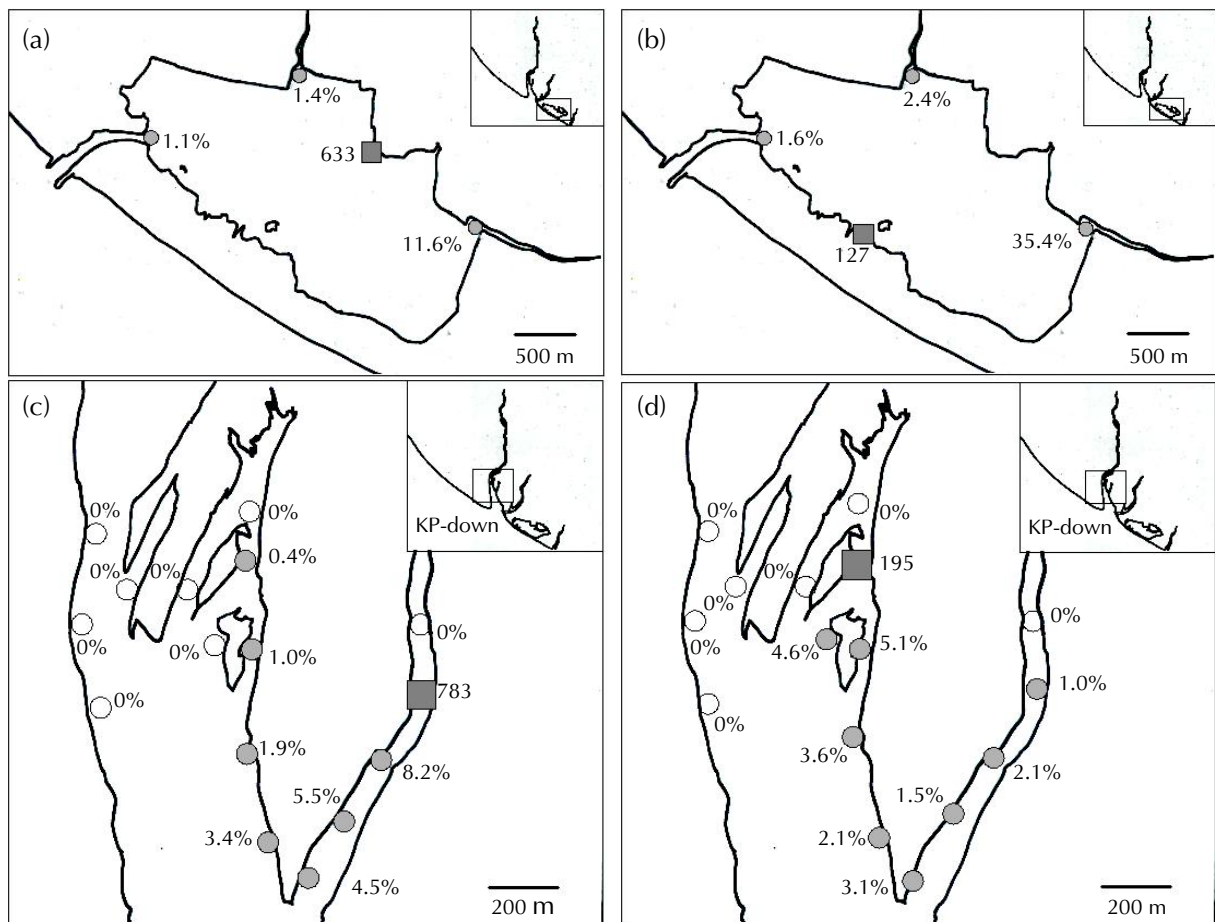


Fig. 7 Dispersal of marked Japanese eels in Da-Pong Bay and the estuary of the Kao-Ping River after released. (a) and (b) indicate the recapture rates of the eels released in the north and south coasts of Da-Pong Bay on Sept. 9, 2003 and Oct. 7, 2003, and the recapture rates in the seawater inlet and freshwater entrance of the bay from Oct. 2003 to Feb. 2004. (c) 783 eels (in square) were released in the lower reach of Kao-Ping River on Aug. 15, 2006 and the recapture rates of eels in each of the sampling sites in the 10 days after release. Open circles indicate no recapture. (d) The 195 recaptured eels from (c) were released again in the upper part of the downstream of Kao-Ping River on Aug. 25 and the recapture rate of eels recaptured after 24 hrs in each sampling sites is shown.

結 果

一、回收率的時間變化

雖然鰻魚的回收率有年度間或地點間的差異，大鵬灣 2006 年的累積回收率為 14.6%，而高屏溪在 2003、2005 以及 2006 年的累積回收率分別為 3%、3.4% 以及 22.4% (Tables 2, 3)，但在放流後二個月，都呈現明顯的下降 (Fig. 6)，到了第 6 個月 (大鵬灣除外)，幾乎不再發現標識鰻魚。此外，回收率在養殖鰻與野生鰻之間，則沒有顯著性的差異，表示放流之後，兩者的行為相似。而經過 ALC 標識的鰻線，於 2002 年 3 月在高屏溪下游總計放流 4800 尾，但是截至 2008 年底，都

沒有回收到所標識的鰻魚。

二、鰻魚的移動距離及領域行為

以大鵬灣的鰻魚為例，不論是在北岸或是南岸放流的鰻魚，經過不同回收地點漁具的統計，超過 93.9% 都是在較低鹽度的淡水排水口中被捕 (Fig. 7a, b)，依照放流點以及回收點的經緯度，估計每日最大的移動距離約為 2.48 km，而高屏溪的鰻魚，有 99% 都是在河口地區被捕 (Fig. 7c, d)，而且也都距離放流點不遠，這樣的結果表示高屏溪的鰻魚喜歡河口半淡鹹水的環境，每日最大移動距離約為 2.09 km。鰻魚放流之後，其回收率隨著距離的增加明顯的降低 (Fig. 8)，這表示

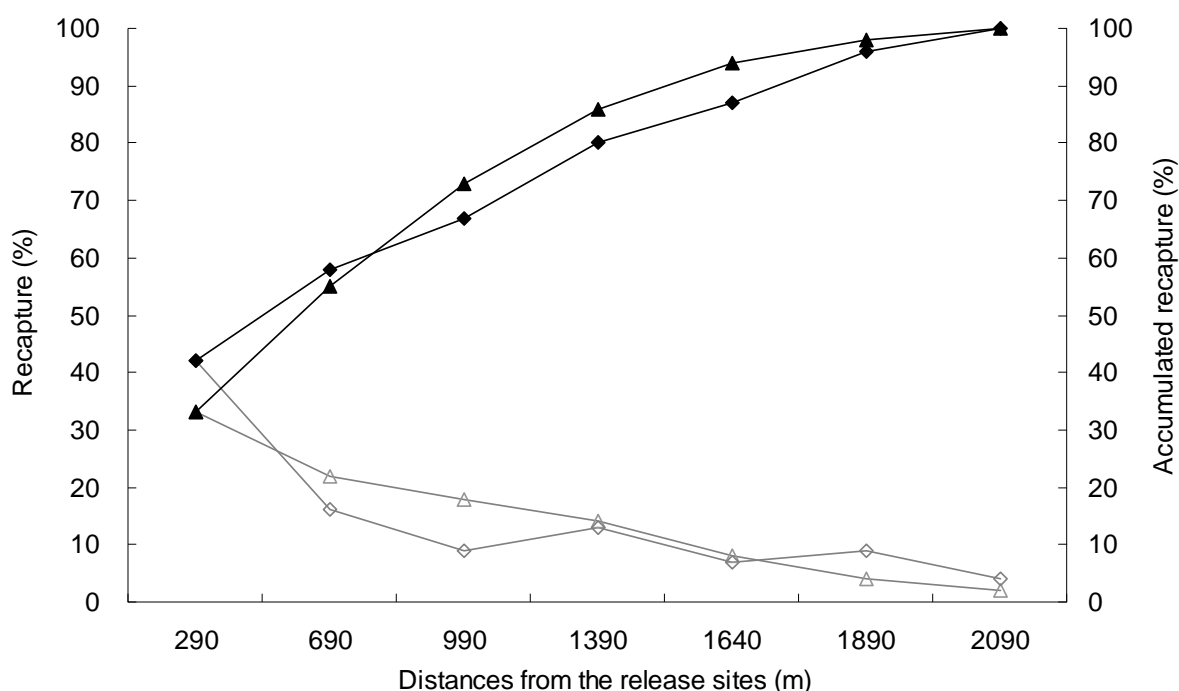


Fig. 8 The spatial frequency distribution of Japanese eels in the 10 days (Diamond) and 24 hrs (Triangle) after released in the estuary of Kao-Ping River. Left axis and open symbols: recapture by distance from the release site; Right axis and solid symbols: accumulated recapture by distance from the release site. Diamond: the 783 eels released on Aug. 15, 2006 and recaptured until Aug. 25, 2006 (n=204); Triangle: the 195 eels recaptured from Aug. 15 until Aug. 25, 2006 and released on Aug. 25 and recaptured on Aug. 26, 2006 (n=45).

鰻魚放流之後，移動的距離很小，有停留在放流點附近的領域行為；超過 80% 的鰻魚每天的移動距離不會超過 1 公里 (Fig. 8)。而就分別放流在高屏溪兩個地點的鰻魚而言，其擴散範圍非常相似，表示鰻魚有一定的棲地喜好性。

三、耳石 Sr/Ca 比與飼育鹽度之關係

Figure 9a 是養殖鰻放流前後的耳石 Sr/Ca 比變化。Y 軸代表由耳石核心位置到邊緣的穿越線分析，長度越長代表鰻魚的年齡越大。在 2 年的淡水畜養期間，Sr/Ca 比在 4% 以下，半年的半淡鹹水 (鹽度約 10 ~ 20 psu) 馴化期間，耳石的 Sr/Ca 比會隨著外在環境鹽度的上升而增加到 4% 以上。因此，耳石 Sr/Ca 比 4% 可以當作是鰻魚在海水和淡水之間洄游的判斷指標。Fig. 9b 是在高屏溪捕捉的野生鰻，於放流前鰻魚耳石 Sr/Ca 比的時序列變化，Sr/Ca 比大都在 4% 左右震盪，表示這尾鰻魚放流前後都在半淡鹹水附近移動。

四、鰻魚的洄游類型

從 2003 年在大鵬灣捕捉的 60 尾野生鰻以及 2003-2006 年在高屏溪捕捉的 209 尾野生鰻的耳石 Sr/Ca 比分析結果，發現可以將鰻魚的洄游環境史歸納成三種類型 (Fig. 10)：(1) 淡水型的鰻魚 (Fig. 10a)，其耳石 Sr/Ca 比在鰻線階段 (EC) 以後都在 4% 以下，這一類型在大鵬灣有 15 尾、高屏溪有 47 尾，分別佔捕捉鰻魚總數比例的 25% 以及 22%；(2) 海水型 (Fig. 10b)，耳石 Sr/Ca 比都在 4% 以上，其比例分別為大鵬灣 9 尾的 15% 與高屏溪 5 尾的 2.5%；(3) 河口型 (Fig. 10c, d)，耳石 Sr/Ca 比都在 4% 左右變動，其比例分別為大鵬灣 36 尾 (60%) 與高屏溪 157 尾 (75.5%)。河口型的鰻魚還可以進一步分為 2 種次類型：(1) 一次的棲地變換型 (Fig. 10c)，只在海水淡水之間來回移動一次，和 (2) 多次的棲地變換 (Fig. 10d)。從三種生活史類型的百分比可以知道，不論是高屏溪或是大鵬灣，大部分的鰻魚都偏好半淡鹹水的棲地。

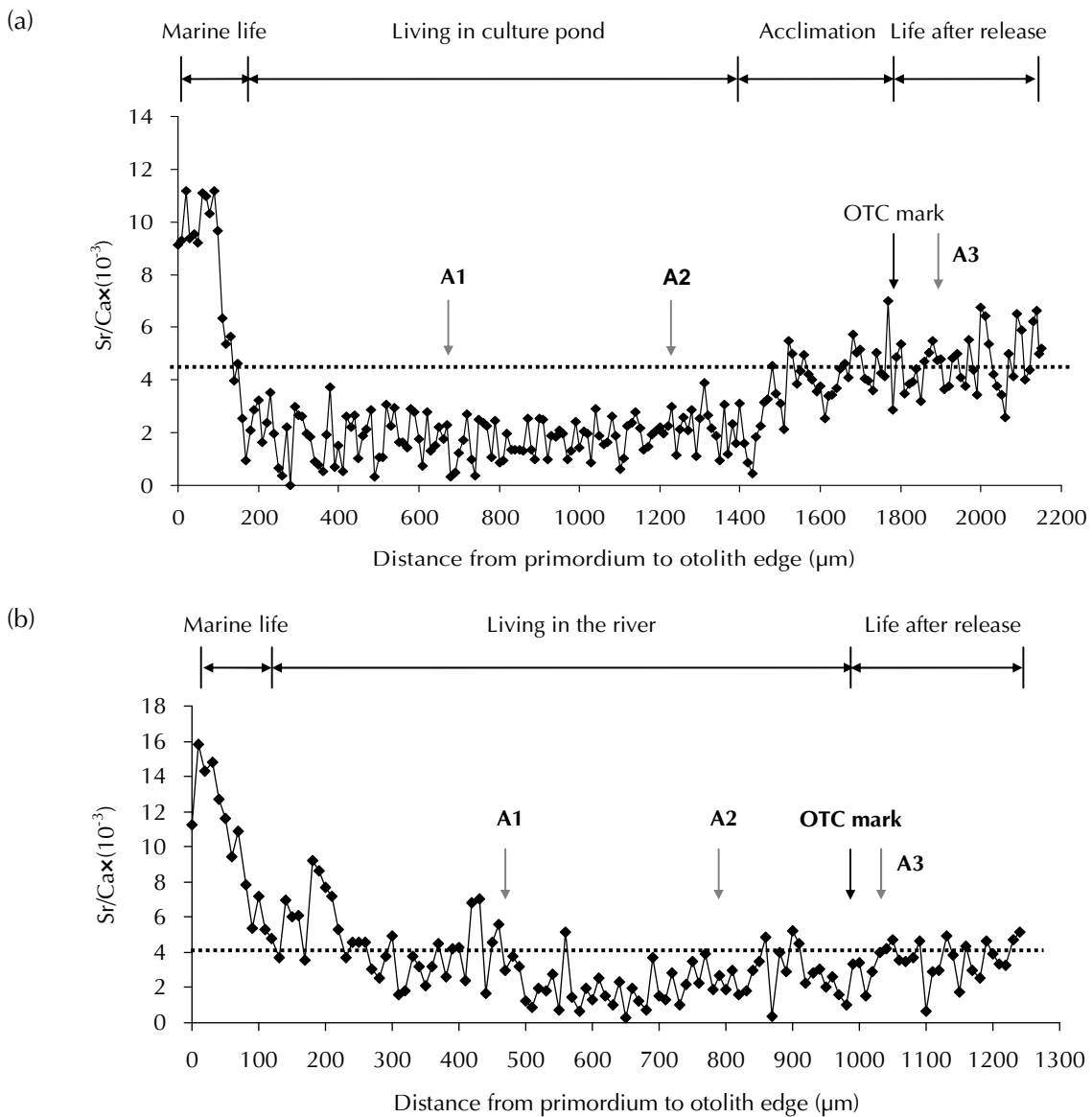


Fig. 9 Temporal changes in otolith Sr/Ca ratios from the primordium to the edge indicating the position of the OTC mark on the otolith of yellow Japanese eels including: (a) cultured eels and (b) wild eels from the estuary of the Kao-ping River. A: annual increment. Sr/Ca ratios 4 ‰ were the boundary of seawater and freshwater.

五、放流鰻的移動行為

Figure 11 是鰻魚放流後，亦即（螢光標識記號之後）的耳石 Sr/Ca 比的變化。大鵬灣標識放流之後的鰻魚，大部分在淡水排入口被捕獲，以其中所分析的 4 尾鰻魚為例，其耳石 Sr/Ca 比在 3 ~ 7 ‰ 之間變化 (Fig. 11a)，亦表示大鵬灣的鰻魚在灣內的高鹽度與淡水排入口之間移動的趨勢。2005 年在高屏溪所回收的 4 尾鰻魚，則偏好低鹽度的河口域環境 (Fig. 11b)，而 2006 年春回收的另外 4 尾鰻魚，則傾向淡水環境 (Fig. 11c)。較

特別的是，在 2005 年 10 月 3 日在高屏溪中游的旗山所放流的一尾鰻魚，經放流 194 天後，於 2006 年 4 月 13 日在下游的林園被捕獲，移動距離約 42 公里，若是以每天的最大移動距離（約 2 km），應該只需要大約 21 天即可到達被捕獲的地點，但事實並非如此，由耳石上 Sr/Ca 比的分析結果可以證明，這尾鰻魚放流之後大部分時間都停留在淡水 (OTC 之後 ~ 100 µm)，於捕獲之前不久 (130 ~ 160 µm from OTC) 才向下游的低鹽度的河口域移動 (Fig. 11d)，並非放流後即馬上由中上游移動到達下游。

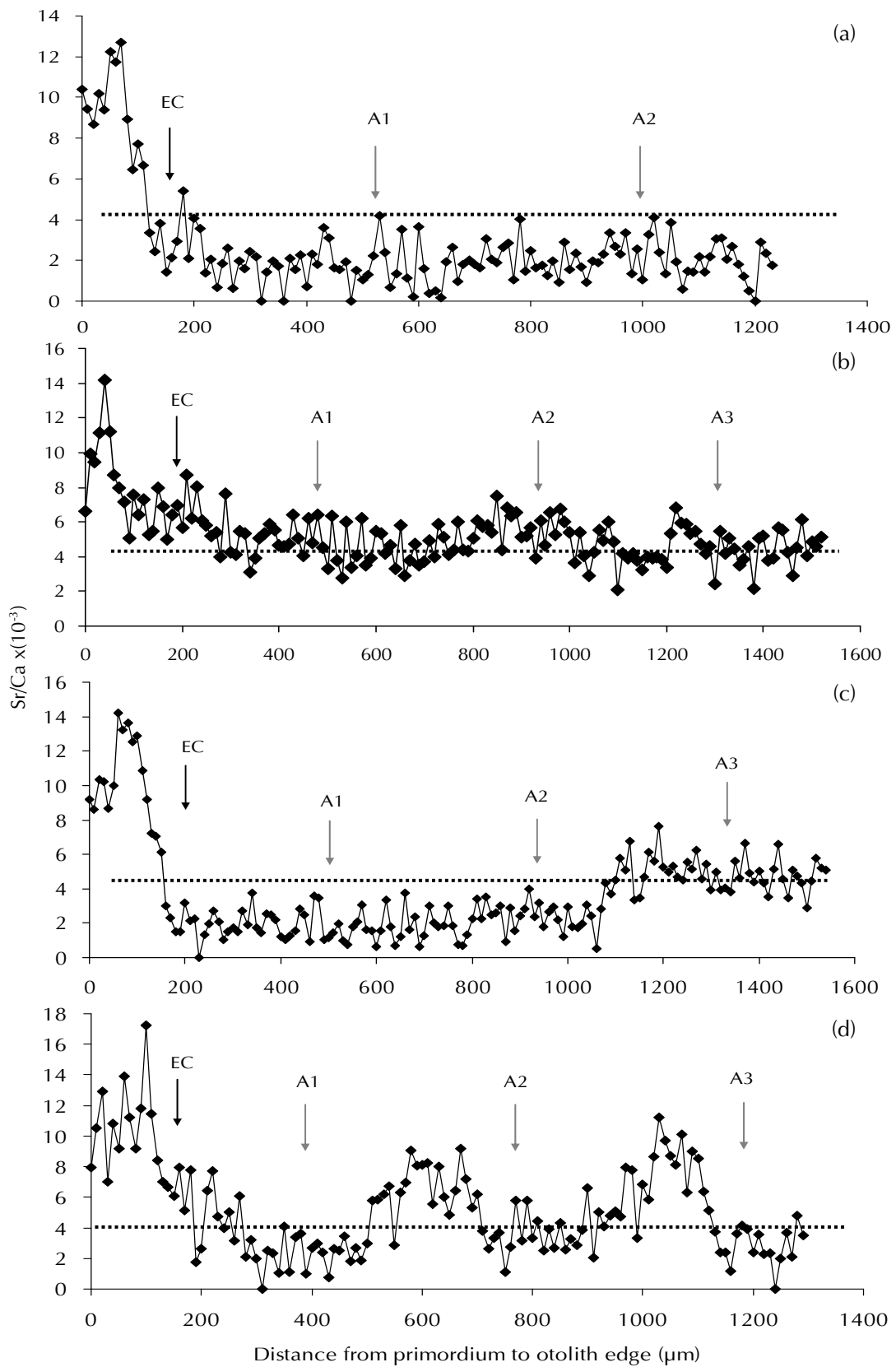


Fig. 10 Temporal changes in otolith Sr/Ca ratios between the primordium and the edge of wild Japanese eels in Da-pong Bay. According to the pattern of otolith Sr/Ca ratios, migratory behaviors were classified into 3 types: freshwater eel (a), seawater eel (b) and estuarine eel (c, d). EC = elver check, A: annual increment. Sr/Ca ratios of 4 % were the boundary of seawater and freshwater.

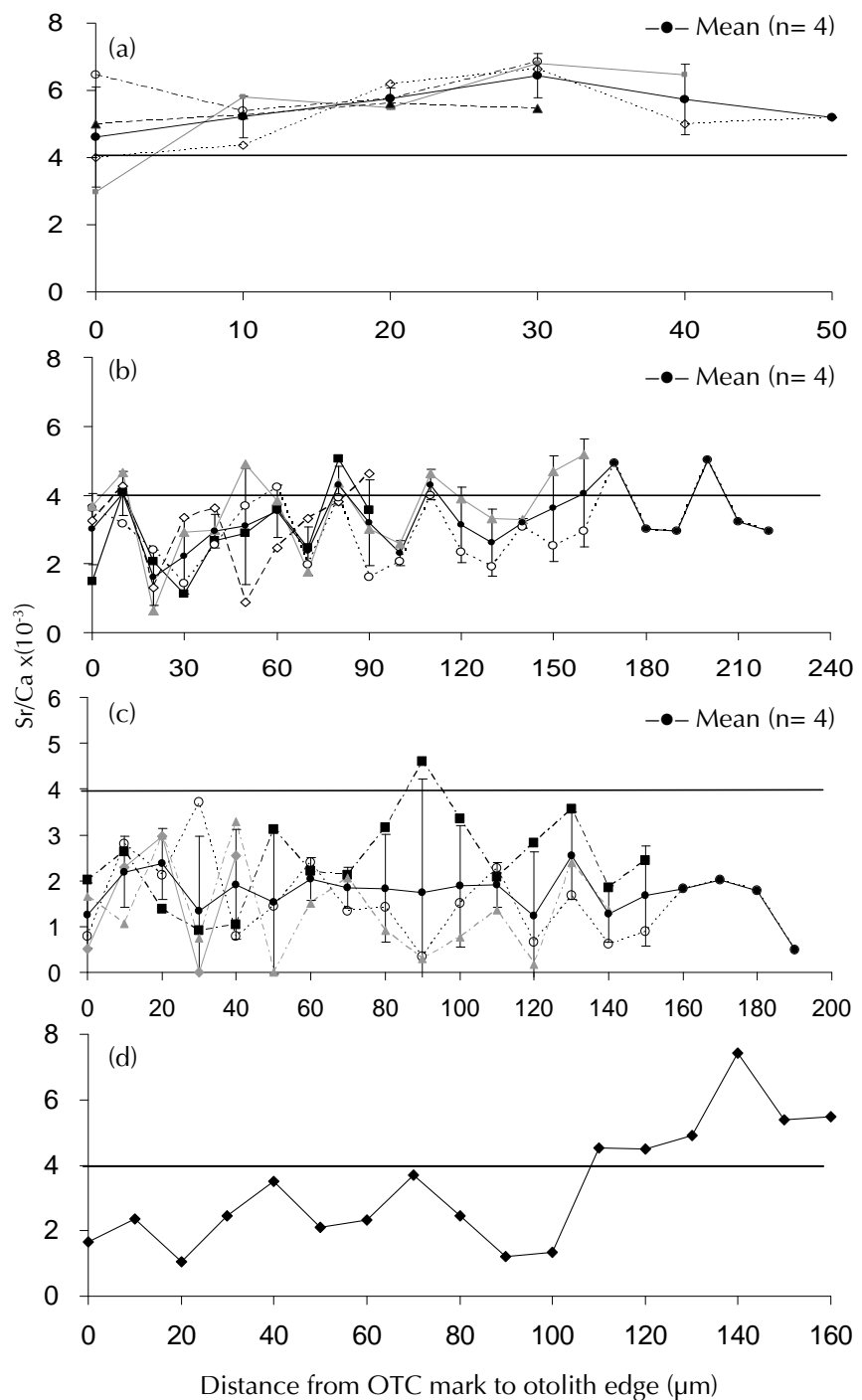


Fig. 11 Temporal changes in otolith Sr/Ca ratios from the OTC mark to the edge of 4 Japanese eels, which were released and recaptured in (a) Da-pong Bay in 2003; (b) Kao-ping River in 2005; (c) Kao-ping River in 2006 and (d) Kao-ping River released in 2004 and recaptured in the downstream 194 days later in 2005. Sr/Ca ratios of 4 ‰ were the boundary of seawater and freshwater.

討 論

一、標識方法的選擇及其優缺點

螢光標識方法的操作，通常是在常溫下進行，但是大部分用來標識的藥品，例如 TC 或是 ALC，都會有氧化（例如 TC 變成 OTC）及緩慢分解的現象，藥品的保存要避免光照的影響，造成

藥效降低、導致標識的成功率下降。特別是採用浸泡方式的標識實驗，通常都超過 6 ~ 12 小時，因此要放置在陰暗處。另外，部分的藥品，例如 OTC，其高濃度溶液屬於弱酸性，在使用前需要先以 NaOH 調整 pH 值，否則注射後可能會對魚體產生不適甚至是造成傷害、或導致死亡，因此要在實驗進行前，進行耳石螢光標識的前實驗，以確保標識的成功。另外，不同魚種對於標識藥品

的適應性也不同，即使是較接近日本鰻的歐洲鰻或是美洲鰻，都要進行濃度及標識時間的測試。本研究測試了日本鰻最適合的螢光標識條件。耳石的螢光標識，會在耳石上產生高亮度的螢光環，而螢光環在顯微鏡下會暈開，超過顯微鏡的鑑別力，且螢光環的寬度大於耳石上的最小單位日輪，加上藥品的代謝時間亦超過日的層次，因此耳石的螢光標識對應到時間軸，會有 2~3 天些微的誤差，但不致於影響實驗結果的準確度。本研究所使用的 OTC 以及 ALC 染劑，在不同波長的濾光片之下，分別會呈現黃綠色以及紅色的螢光環，過去的研究都只有使用單一種染劑進行單次標示，未來可以透過不同顏色染劑的排列組合應用在多次標示，或者是作為不同放流群的區分。

進行標識時，多少會對魚類造成緊迫感(stress)，雖不致於影響其成長，但我們還是在標識前施行麻醉，使魚體進入活動緩慢或是昏迷的狀態，以避免因為過度的掙扎而造成魚體內、外物理性的傷害。標識魚在 2 周或一個月後，與對照組別的鰻魚做比較，發現在體成長以及耳石的輪紋上，均沒有顯著性的差異，代表標識實驗的操作、藥品的使用，對魚體的干擾以及成長的影響，幾乎是可以被忽略的。

過去曾經使用過塑膠標籤來標識，但是這種標籤屬於外露式的標識，會有一小片段的標籤外露在鰻魚體表，而鰻魚屬於底棲性的魚類，在尋找適合的巢穴時，外露的標籤對鰻魚進出洞穴時，易因拉扯而產生物理性的傷害，造成傷口的發炎或細菌感染潰爛導致魚體死亡。至於 OTC 及 ALC 的標籤對鰻魚則沒有這些困擾。

標識放流是耗費人力物力的，因此有效的回收以及資料的累積，則相對地重要。體外標識的方法可以達到較高的辨識率，但是本實驗所使用 N₂、剪鰭等外在標識方法，可以保留的時間較短，將來需要開發可以維持較長時間的標識方法。體內標籤，例如無線電標籤的微小化，可以應用在更小的魚體上；延長無線電標籤的電池壽命，可以增加追蹤的時間效應；進一步增加標籤的功能，便能夠在追蹤確切地點以及移動路徑的同時，累積並且紀錄更多外在水文的環境條件。這些都可以改善本研究的傳統標識的缺點。沒有任何一種方法是完美無缺的，因此多重方法的同時

使用，可以補足不同種標識方法之間的缺點，對於魚類的追蹤達到更大的效應。以上標識方法的改良對漁業資源以及魚類生活史的研究相當重要，而多重標識方法，經本研究的證實，是可以並行的，並且可以增加對放流樣本資訊的累積。

ALC 標識後放流在高屏溪河口的 4800 尾鰻線，在後續的調查中，都沒有被發現，探討其原因可能是單一的內標方式不易被漁民發覺，並且每一個個體必須要用螢光顯微鏡檢視耳石，再捕時的判定上有困難。另一原因可能是野生鰻以河口型居多(高達約 75%)，另外將近 25% 的鰻魚會擴散到其他的棲地，而且鰻線成長到可捕撈的鰻需要 2~3 年，期間的死亡率都是造成 ALC 標識的鰻線沒有被回收的可能原因。

二、從回收來看現場棲地的喜好

鰻魚在放流之後，回收率在二個月內，呈現急速下降現象，到了第 6 個月，幾乎不再發現標識鰻魚，這表示大部分的標識鰻，可能擴散到其他的區域。高屏溪的回收率在不同年間的差異，主要是由於放流地點的差異所造成的，在 2003 以及 2005 年，放流地點是在漁民作業區域的上游，因此回收率較低，而 2006 年的放流地點，是在高屏溪漁民傳統作業的區域，因此回收率相對的高出很多。當地漁民在放流後的前兩個月，主要都是回收到標識的鰻魚，2 個月後所捕捉到的鰻魚大多是野生鰻，但是數量並不多，表示當地野生鰻的族群可能很小。另外，也可能是放流鰻大多為養殖鰻，對於新環境尚未適應，在初期可能較容易被捕捉。在放流之後，超過 50% 的鰻魚移動距離都小於 500 m，代表鰻魚有強烈的領域行為，會選擇固定的棲地，加上後續回收的鰻魚，大部分都是位於水生植物豐富的草澤以及有洞穴的橋墩等地點被捕獲。因此可考慮將這些鰻魚密度較高的河段設置為保護區。根據現場採樣地點的觀察，放流 10 天與 24 小時的移動位置之模式極為相似，都移動到高屏溪在靠近屏東的南岸以及中間的沙洲，可能是因為此處擁有較多的植物覆蓋，能夠提供較多的隱藏地點，而且靠近高雄的北岸，水流較為湍急，可能無法提供鰻魚穩定棲息的空間。

三、從 Sr/Ca 比的變化所看到的日本鰻的棲地選擇

日本鰻的耳石 Sr/Ca 比與外在水體 Sr/Ca 比的關係為 $(\text{Sr/Ca}) \times 1000_{\text{耳石}} = 0.09 \times \text{鹽度} + 3.790$ (Lin *et al.*, 2007)。這個方程式表示鹽度等於 0 psu 時，耳石 Sr/Ca 比為 3.79 ‰。因此常常以耳石 Sr/Ca 比 4 ‰ 作為淡水與海水的分界點 (Tzeng, 1996)。本研究的養殖鰻在 2 年的淡水蓄養期間，耳石 Sr/Ca 比也出現在 4 ‰ 以下 (Fig. 9a)，符合耳石 Sr/Ca 比與畜養鹽度環境之關係，進一步驗證了耳石 Sr/Ca 比與鹽度之關係。

大鵬灣回收的鰻魚，其耳石 Sr/Ca 比都在 4 ‰ 以上，根據灣內不同地點的鹽度測量結果，大鵬灣是屬於全海水的環境，因此耳石 Sr/Ca 比，可以反應外在的環境。雖然大多數從大鵬灣回收的鰻魚都是在靠近淡水的排水口被捕捉，但是短暫地移動到較低鹽度的環境，並沒有辦法在耳石上呈現，所以證明大鵬灣的鰻魚，有絕大部分的時間，都停留在灣內的高鹽度水域。

在高屏溪 2005 年放流 2006 年回收的鰻魚中，其耳石 Sr/Ca 比在 4 ‰ 左右上下震盪，表示鰻魚是停留在河口的半淡鹹水環境中，回收地點的環境 (鹽度 5 ~ 20 psu)，也是同樣符合耳石的微化學結果。而在 2006 年放流 2007 年回收的鰻魚中，其耳石 Sr/Ca 比則是在 4 ‰ 以下，代表這些鰻魚是在較低鹽度，甚至是接近淡水的地點棲息。2006 年的放流是在 8 月進行，季節上屬於雨季，因此較大的降雨量，會帶來上游豐沛的淡水，加上每年的颱風過後，對於採樣點當地會造成地形的改變，以 2006 年為例，部分的淤沙被大水帶走，使得原本與上游稍微被阻隔的鰻魚棲息地，能夠獲得更多來自上游的淡水來源，也是造成耳石 Sr/Ca 比較低的原因。

四、鰻魚的領域行為

經由標識放流的結果發現，不論是在大鵬灣或是高屏溪，鰻魚每天最大的移動距離大約是 2 公里，而且將近 80% 的鰻魚，其移動距離都不會超過 1 km，表示鰻魚具有固定的領域行為，一旦選擇了該棲地，就很少會往其他地方移動。亦有可能是放流鰻對於新環境尚未適應。本實驗僅有

一尾鰻魚，是在中上游的旗山被放流，經過 194 天後在下游的林園被捕捉，由耳石的 Sr/Ca 比分析，說明此鰻魚的棲地轉換是逐步的，並不是受到雨季大水的沖刷，被動的移動到下游來，進一步檢視此鰻魚也不是進行降海洄游銀化的鰻魚，由此也可說明，相當高比例的鰻魚在黃鰻階段，會選擇河口區域作為其棲息地，這一點與野生鰻魚的生活史現象相似。而高比例的河口型鰻魚，可能是由於台灣的河川都比較陡峭，越往上游腹地面積越小，而河口區能夠提供較大面積的棲地，承載較高的生物量。

結 論

本研究結合傳統的標識技術和耳石的元素分析，詳實地呈現黃鰻在河川內的洄游行為及環境史。根據標識放流的回收資料分析結果，發現鰻魚具有領域行為，大部分的鰻魚放流後並不會移動超過 1 km，並且偏好棲息在水生植物豐富的地區。根據耳石 Sr/Ca 比的分析結果，發現鰻魚喜好停留在河口半淡鹹水的環境。養殖鰻與野生鰻放流後並沒有因過去的不同生活環境，而出現不同的行為或回收率的顯著差別。沒有任何一種標識放流方法是完美的，結合多重方法具有互補作用，可以更深入一窺鰻魚的移動行為模式以及棲地利用情形。

謝 辭

本研究的鰻魚放流及資料分析費用，分別由行政院農業委員會水產試驗所及國科會計畫 (NSC 96-2313-B002-008 awarded to Dr. W. N. Tzeng) 所支應。試驗進行期間承蒙台灣大學張美瑜、林裕嘉、林育廷、江俊億、張雅婷、鄭志成等以及水產試驗所黃海全、黃家富、黃瀛生、賴仲義、張湧泉、白志年、陳冠如、周瑞良、李宜珊等在鰻魚的蓄養照護、標識作業以及放流工作的協助；高屏溪漁民謝南曲、朱坤樹、洪阿雄、黑人在鰻魚回收的協助，使得本研究得以順利完成，謹此一併敬致謝忱。

參考文獻

- Boubee, J., D. Jellyman and C. Sinclair (2008) Eel protection measures within the Manapouri hydro-electric power scheme, South Island, New Zealand. *Hydrobiologia*, 609: 71-82.
- Campana, S. E. (1999) Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms, and applications. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 188: 263-297.
- Howland, K. L., W. M. Tonn, J. A. Babaluk and R. F. Tallman (2001) Identification of freshwater and anadromous inconnu in the Mackenzie River system by analysis of otolith strontium. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 130 (5): 725-741.
- Jellyman, D. and K. Tsukamoto (2002) First use of archival transmitters to track migrating freshwater eels *Anguilla dieffenbachii* at sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 233: 207-215
- Jessop, B. M., J. C. Shiao, Y. Iizuka and W. N. Tzeng (2002) Migratory behaviour and habitat use by American eels *Anguilla rostrata* as revealed by otolith microchemistry. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 233: 217-229.
- Kalish, J. M. (1990) Use of otolith microchemistry to distinguish the progeny of sympatric anadromous and non-anadromous salmonids. *Fish Bull.*, 88: 657-666.
- Kawakami, Y., N. Mochioka, K. Morishita, T. Tajima, H. Nakagawa, H. Toh and A. Nakazono (1998) Factors influencing otolith strontium/calcium ratios in *Anguilla japonica* elvers. *Environ. Biol. Fish.*, 52: 299-303.
- Kuo, C. L., A. Nakamura, K. Tsukamoto, K. Suzuki and I. C. Liao (1996) Tracking of Japanese eel *Anguilla japonica* by ultrasonic transmitter in the southwestern waters of Taiwan. *J. Fish. Soc. Taiwan*, 23 (4): 279-287.
- Liao, I. C. (2001) A general review on aquaculture in Asia: A focus on anguillid eel. In: I. C. Liao (compiled) Keynote Addresses, The 5th and 6th Asian Fisheries Forums. AFS Special Publication, 11: 39-54
- Liao, I. C., S. G. Liao, W. N. Tzeng and C. L. Kuo (1999) Investigation on *Anguilla japonica* leptocephali by Fisheries Researcher 1. In *Studies on the Life Cycle of Eel* (K. Aida and K. Tsukamoto eds), *Kaiyo Monthly, Special Issue*, 18: 27-33.
- Liao, I. C., C. L. Kuo, W. N. Tzeng, S. T. Hwang, C. L. Wu, C. H. Wang and Y. T. Wang (1996) The first time of leptocephali of Japanese eel *Anguilla japonica* collected by Taiwanese researchers. *J. Taiwan Fish. Res.*, 4: 107-116.
- Limburg, K. E., P. Landergren, L. Westin, M. Elfman and P. Kristiansson (2001) Flexible modes of anadromy in Baltic Sea trout: making the most of marginal spawning streams. *J. Fish Biol.*, 59: 682-695.
- Lin, S. H., C. W. Chang, Y. Iizuka and W. N. Tzeng (2007) Salinities, not diets, affect strontium/calcium ratios in otoliths of *Anguilla japonica*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 341: 254-263.
- Radtke, R. L. and R. A. Kinzie III (1996) Evidence of a marine larval stage in endemic Hawaiian stream gobies isolated from high-elevation locations. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 125: 613-621.
- Schmidt, J. (1912) The reproduction and spawning places of the freshwater eel (*Anguilla vulgaris*). *Nature*, 2234 (89): 633-636
- Secor, D. H., A. Henderson-Arzapalo and P. M. Piccoli (1995) Can otolith microchemistry chart patterns of migration and habitat utilization in anadromous fishes? *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 192: 15-33.
- Secor, D. H. and P. M. Piccoli (1996) Age- and sex-dependent migrations of striped bass in the Hudson River as determined by chemical microanalysis of otoliths. *Estuaries*, 19(4): 778-793.
- Shen, K. N., Y. C. Lee and W. N. Tzeng (1998) Use of otolith microchemistry to investigate the life history pattern of gobies in a Taiwanese stream. *Zool. Stud.*, 37(4): 322-329.
- Shen, K. N. and W. N. Tzeng (2002) Formation of a metamorphosis check in otoliths of the amphidromous goby *Sicyopterus japonicus*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 228: 205-211.
- Shiao, J. C., Y. Iizuka, C. W. Chang and W. N. Tzeng (2003) Disparities in habitat use and migratory behavior between tropical eel *Anguilla marmorata* and temperate eel *A. japonica* in four Taiwanese rivers. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 261: 233-242.
- Tanaka, H., H. Kagawa and H. Ohta (2001) Production of leptocephali of Japanese eel (*Anguilla japonica*) in captivity. *Aquaculture*, 201: 51-60.
- Thibault, I., J. J. Dodson, F. Caron, W. Tzeng, Y. Iizuka and J. Shiao (2007) Facultative catadromy in American eels: testing the conditional strategy hypothesis. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 344: 219-229.

- Thorrold, S. R., G. P. Jones, M. E. Hellberg, R. S. Burton, S. E. Swearer, J. E. Neigel, S. G. Morgan and R. R. Warner (2002) Quantifying larval retention and connectivity in marine populations with artificial and natural markers. *Bull. Mar. Sci.*, 70: 291-308.
- Thorrold, S. R., G. P. Jones, S. Planes and J. A. Hare (2006) Transgenerational marking of embryonic otoliths in marine fishes using barium stable isotopes. *Can. J. Fish. Aqua. Sci.*, 63: 1193-1197.
- Tsukamoto, K. (1992) Discovery of the spawning area for Japanese eel. *Nature*, 356: 789-791.
- Tsukamoto, K. (2006) Spawning of eels near a seamount. *Nature*, 439: 929.
- Tsukamoto, K. and T. Arai (2001) Facultative catadromy of the eel *Anguilla japonica* between freshwater and seawater habitats. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 220: 265-276.
- Tzeng, W. N. (1984) An estimate of the exploitation rate of *Anguilla japonica* elvers immigrating into the coastal waters off Shuang-Chi River, Taiwan. *Bull. Inst. Zool., Academia Sinica*, 23(2): 173-180.
- Tzeng, W. N. (1995) Migratory history recorded in otoliths of the Japanese eel, *Anguilla japonica*, elvers as revealed from SEM and WDS analyses. *Zool. Stud.*, 34(1): 234-236.
- Tzeng, W. N. (1996) Effects of salinity and ontogenetic movements on strontium:calcium ratios in the otoliths of the Japanese eel, *Anguilla japonica* Temminck and Schlegel. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 199: 111-122.
- Tzeng, W. N. (2003) The processes of onshore migration of the Japanese eel *Anguilla japonica* as revealed by otolith microstructure. *Eel Biology*, 181-190.
- 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: 671-684.
- Tzeng, W. N., K. P. Severin and H. Wickström (1997) Use of otolith microchemistry to investigate the environmental history of European eel *Anguilla anguilla*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 149: 73-81.
- Tzeng, W. N., J. C. Shiao and Y. Iizuka (2002) Use of otolith Sr:Ca ratios to study the riverine migratory behaviours of Japanese eel *Anguilla japonica*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 245: 213-221.
- Tzeng, W. N., K. P. Severin, H. Wickström and C. H. Wang (1999) Strontium bands in relation to age marks in otoliths of European eel *Anguilla anguilla*. *Zool. Stud.*, 38(4): 452-457.
- Tzeng, W. N., C. H. Wang, H. Wickström and M. Reizenstein (2000) Occurrence of the semi-catadromous European eel *Anguilla anguilla* (L.) in Baltic Sea. *Mar. Biol.*, 137: 93-98.
- Tzeng, W. N., Y. Iizuka, J. C. Shiao, Y. Yamada and H. P. Oka (2003) Identification and growth rates comparison of divergent migratory contingents of Japanese eel (*Anguilla japonica*). *Aquaculture*, 216: 77-86.
- Westerberg, H., I. Lagenfelt and H. Svedang (2007) Silver eel migration behaviour in the Baltic. *ICES J. of Mar. Sci.*, 64(7): 1457-1462.
- Williamson, D. H., G. P. Jones, S. R. Thorrold and A. J. Frisch (2009) Transgenerational marking of marine fish larvae: stable-isotope retention, physiological effects and health issues. *J. of Fish Bio.*, 74: 891-905.
- Yu TC, Tsai CL, Tsai YS and Lai JY (1993) Induced breeding of Japanese eels, *Anguilla japonica*. *J. Taiwan Fish. Res.*, 1: 27-34.

Use of Mark-recapture and Otolith Microchemistry on the Study of the Migratory Behaviour and Habitat Use of Japanese Eels (*Anguilla japonica*)

Shih-Huan Lin¹, Su-Lean Chang², Yoshiyuki Iizuka³, Tzyy-Ing Chen², Fu-Guang Liu⁴,
Mao-Sen Su⁵, Wei-Cheng Su⁵ and Wann-Nian Tzen^{1*}

¹Institute of Fisheries Science, National Taiwan University

²Tungkang Biotechnology Research Center, Fisheries Research Institute

³Institute of Earth Science, Academia Sinica

⁴Freshwater Aquaculture Research Center, Fisheries Research Institute

⁵Fisheries Research Institute

ABSTRACT

To understand the distribution, migratory behaviour and adaptation to salinity of Japanese eels *Anguilla japonica* in the coastal waters, five tagging methods were used, They were (1) liquid nitrogen marking on the fish body surface (2) fin clipped (3) oxytetracycline and alizarin complexone marking on otoliths (4) microchips and (5) coded wire tags. Totally, 4800 elvers and 2473 yellow eels were released into Da-pong Bay and Kao-ping River in 2002, 2003, 2005 and 2006. According to the recaptured data, the marked eels exhibited territory behaviours and most eels stayed within 1 km from the released sites. In addition, the Sr/Ca ratios also showed that most eels habituated in the estuarine areas.

Key words: *Anguilla japonica*, habitat use, Sr/Ca ratio, tagging

*Correspondence: No. 1, Sec. 4, Roosevelt Road, Taipei, 10617 Taiwan. TEL: 02-33662887; FAX: 02-23639570; Email: wnt@mtu.edu.tw