

韓玉山¹，曾萬年¹，黃永森²，廖一久^{2*}

¹國立臺灣大學 動物學研究所

²行政院農業委員會 水產試驗所

*通訊作者，iclia@mail.tfrin.gov.tw

(2000 年 12 月 23 日接受)



日本鰻的銀化：季節、年齡、體型與脂肪

摘要

本研究旨在探討日本鰻之銀化過程中，年齡、體長、體重、季節及體脂率之變化，以及其生理意義。研究上使用之標本採自高屏溪下游，採集時間自 1998 年 11 月至 1999 年 11 月。根據日本鰻外表體色與生殖腺之發育程度，將雌鰻分為黃鰻期 (Yellow stage)、銀化前期 (Pre-silver stage) 與銀化期 (Silver stage) 三個發育階段；雄鰻則僅分成黃鰻期與銀化期二個階段。結果發現，銀化前期之雌鰻，大部分係出現在夏季，而銀化期者不論雌雄其出現高峰係在冬季及早春。日本鰻之平均銀化體長，雄鰻為 54.8 ± 1.8 cm，雌鰻為 63.1 ± 1.5 cm，雌鰻體長大於雄鰻 ($p < 0.001$)。平均銀化體重，雄鰻為 269.8 ± 28.3 g，雌鰻為 437.4 ± 41.8 g，雌鰻體重大於雄鰻 ($p < 0.001$)。平均銀化年齡，雄鰻為 5.9 ± 0.4 年，雌鰻為 6.7 ± 0.3 年，雌雄間無顯著性差異 ($p > 0.05$)。平均銀化體脂率，雄鰻為 17.0 ± 1.0 %，雌鰻為 17.6 ± 0.7 %，雌雄間無顯著性差異 ($p > 0.05$)。銀化前期之雌鰻，其體長、體重、體脂率及年齡與銀鰻者皆無顯著差異 ($p > 0.05$)。日本鰻在成長過程中，不論雌雄其體長、體重、年齡以及體脂率間均具顯著相關 ($p < 0.05$)。本研究結果顯示，日本鰻銀化的啟動，受到季節之影響，且需要達到一定的體型、年齡以及體脂率。

關鍵詞：日本鰻，銀化，季節，體型，年齡，體脂率

日本鰻 *Anguilla japonica* Temminck and Schlegel 為一降海產卵洄游型 (Catadromous) 之魚類，在台灣、中國、韓國以及日本等地的河川生長。鰻魚降海到外洋中方成熟、產卵⁽¹⁾。卵孵化後發育為柳葉型仔鰻 (Leptocephalus)，其側扁的體形適合隨著表層溫暖的洋流 (North Equatorial Current 與 Kuroshio Current) 向陸地邊緣漂送。柳葉型仔鰻經過數月的成長後，到達大陸棚或是沿岸海域時即變態為流線型之玻璃鰻 (Glass eel)，並向沿岸河口聚集。當玻璃鰻身上出現色素後稱為幼鰻 (Elver) 或是鰻苗。在溯河至河川或是留在河口域中成長的期間稱為黃鰻 (Yellow eel)。經過數年的成長後，變態成為銀鰻 (Silver eel)，並開始進行降海洄游，繁殖下一代，完成其生活史^(1,2,3,4)。鰻魚由黃鰻變

態為銀鰻的過程，稱為銀化 (Silvering)。

日本鰻為上述國家的重要養殖魚種之一，但因其人工繁殖尚未完全成功，因此，養殖所需之鰻苗全靠撈捕河口的野生苗。近年來，由於鰻苗的過度捕撈與環境生態的被破壞，日本鰻鰻苗的年產量逐年下降⁽⁵⁾。為使養鰻產業得以永續經營，一方面要維護天然的鰻魚資源，另一方面則應積極開發人工繁殖技術，以降低對天然鰻苗的過度依賴與消耗。為了增加天然的鰻魚資源，水產試驗所自 1976 年起，即著手進行日本鰻之種鰻放流^(6,7)，但放流用之種鰻均係人工養殖者，生理條件是否與天然降海之銀鰻一樣？能否成功地加入產卵群？尚有諸多疑點。在人工繁殖方面，Ijiri et al.⁽⁸⁾指出，銀鰻的人工催熟效果遠高於黃鰻，廖與張⁽⁹⁾之研究結果亦支持此一論點，顯示銀鰻的生理與內分泌狀態與黃鰻者有

顯著之差別。前人的研究指出，鰻魚在銀化前後，其形態與生理會產生相當明顯的變化，包括背部與胸鰭變黑、側線變得更明顯、胸鰭變大、腹部因嘌呤 (Purine) 的沉積而呈現銀色⁽¹⁾、生殖腺發育加速^(10,11)、消化道萎縮^(12,13)、表皮增厚⁽¹⁾、眼徑增大、視網膜錐狀色素細胞漸被桿狀色素細胞取代⁽¹⁴⁾、骨骼肌之組成與性質改變^(15,16)、鰓部鹽類細胞 (Chloride cell) 增加^(17,18)及魚鰾發育為適應深海環境之形式⁽¹⁹⁾等等。綜上所述，不論是人工繁殖用種鰻之選擇，或是放流用種鰻之評估，皆需了解鰻魚銀化之基礎生理條件及其特徵，方有助於這些問題的釐清與解決。

本研究以台灣之天然產日本鰻為材料，測定體長、體重、年齡及體脂率，並分析其銀化之啟動或過程，是否受上述因子與季節變化之影響，並討論其生理意義，俾利人工繁殖與放流用種鰻之評估與篩選依據。

材料與方法

一、材料

本研究使用之日本鰻樣本，採自台灣南部的高屏溪 (Kaoping River) 下游林園 (Linyuan) 處河口 (Fig. 1)，採集時間自 1998 年 11 月至 1999 年 11 月。鰻魚之捕捉方法主要有三種，一為以活蚯蚓作餌，置於竹筒陷阱中誘捕之；二是利用中空之塑膠水管供鰻魚躲藏，再予以捕捉；三則是由網罟捕捉。利用這些方法採捕之日本鰻，體型都在 30 cm 以上，而且能以組織切片判別雌雄。樣本以冰塊麻醉後，測量其體長、體重等外部形質，之後去頭，剖開頭蓋骨取出耳石，再剪開腹腔，取出生殖腺秤重後浸於 Bouin's solution 作切片觀察組織用。

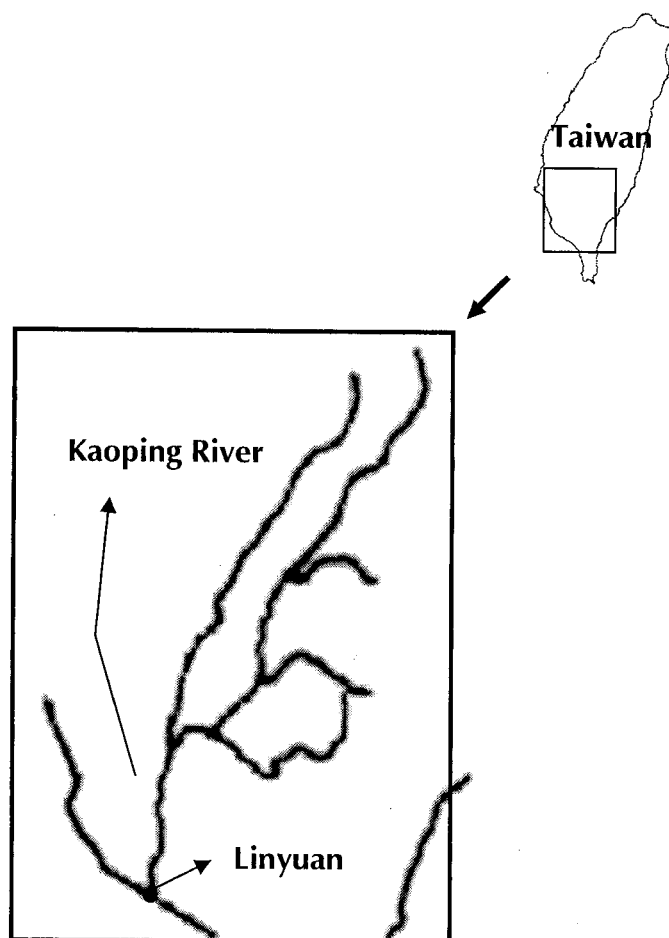


Fig. 1. Sampling areas of the Japanese eel.

二、方法

(一) 形態與生理指數之計算：

肥滿度 (Condition factor, CF) = [體重 (g) / 體長³(mm) × 10⁶]

生殖腺指數 (Gonadosomatic index, GSI) = [生殖腺重 (g) / 體重(g) × 100]

(二) 組織切片：生殖腺浸泡於 Bouin's solution 中至少 48 小時，以酒精脫水後包埋、固定於石臘中，切成 5 μm 的厚度，利用 Hematoxylin 與 Eosin 染色，製成玻片標本。組織切片於光學顯微鏡下判別雌雄，並測量卵細胞的平均卵徑 (Oocyte diameter, OD)。至於精細胞的發育程度，則依照 Miura et al.⁽²⁰⁾所述之方法加以分類；卵細胞的發育程度，係依照 Yamamoto et al.⁽²¹⁾所述之方法分類。

(三) 耳石年齡的估計：日本鰻之耳石處理步驟仿照 Tzeng et al.⁽²²⁾，其方法如下：摘取耳石後先以超音波震盪清潔表面，烘乾後包埋於環氧樹脂內，以研磨機磨至耳石核心為止並拋光表面，之後以 5 % EDTA (pH 7.0) 腐蝕約 90 秒後拍照，依耳石切面所顯現之年輪，由鰻線在冬季溯河時期所形成之年輪為 0 歲起算，計算鰻魚在河川中之年齡。

(四) 體脂率之測定：日本鰻之肌肉中之粗脂肪含量的測定，乃依照 AOCS⁽²³⁾之標準方法。首先將鰻魚去皮剔骨後以絞碎機將肌肉絞碎，取 3-4 g 樣品於烘箱中以 105 °C 烘乾 3 小時，之後以 200 ml 乙醚萃取其脂肪 16 小時，萃取出之脂肪於烘箱中以 105 °C 乾燥脫水，直至樣品重量不再下降為止。每一樣本進行三重複，體脂率 Fat (%) 以 [脂肪重 (g) / 樣品重 (g) × 100 %] 之公式計算。

(五) 銀化程度之判別：日本鰻的銀化程度，與體色的變化以及生殖腺的發育有密切的關聯 (Han et al. unpublished data)，因此，本研究以此兩項因子作為其銀化程度之判別基準，將雌鰻的銀化過程分為 3 個發育期：即黃鰻期 (Yellow stage)、銀化前期 (Pre-silver stage) 與銀化期 (Silver stage)。

黃鰻期之雌鰻，其背部呈深綠色，腹部白色，側線附近偶有黃色出現，胸鰭半透明或呈淺灰色，其卵細胞多處於核仁染色期 (Chromatin nucleolus stage)，卵徑 < 90 μm。銀化前期之雌鰻，其背部開始黑化，腹部逐漸出現銀色，側線處之黃色消失，胸鰭亦開始黑化，這些外表的顏色變化在初期不太明顯，但隨著銀化程度的加深而越發顯著，其卵細胞則進入周邊核仁期

(Peri-nucleolus stage)，初期時由細胞質邊緣開始堆積油滴，卵徑約 90 μm，在後期時油滴已堆積至細胞核周邊，此時卵徑約為 130 μm 左右。銀化期之雌鰻，其背部呈深黑色，腹部出現明顯的銀色，胸鰭全黑，其卵細胞則已進入油滴期 (Oil-droplet stage)，卵徑 > 130 μm，細胞質中繼續堆積大量油滴，當卵徑超過 200 μm 後，則進入卵黃堆積前期 (Primary yolk globule stage)。

雄鰻之生殖腺發育較雌鰻者不顯著，而且樣本數亦不多，因此僅能依照體色與精巢之發育，概分為黃鰻期與銀化期 2 個發育期。黃鰻期之雄鰻，其背部呈深綠色，腹部白色，側線附近偶有黃色出現，胸鰭半透明或呈淺灰色，精巢很小，每窩之精原細胞 (Spermatogonia) 的數目只有數顆至十數顆，精巢之結締組織豐厚。銀化期之雄鰻，其背部呈深黑色，腹部出現明顯銀色，胸鰭全黑，精巢增大但仍不太明顯，每窩精原細胞的數目增多，正進行旺盛之有絲分裂，精巢之結締組織則變薄。

(六) 統計方法：不同發育期之形質平均值間之比較，雄鰻以 Student's t-test 為之，雌鰻則以 Tukey's HSD 多重比較法為之。形質間之相關係數 (Correlation coefficient) 以皮爾森氏 (Pearson) 法計算。數據以平均值 (Mean) ± 標準誤差 (SE) 表示之。

結果

一、銀鰻出現季節

捕獲的 133 尾日本鰻樣本中，雌鰻有 116 尾 (占 87.2 %)，雄鰻 17 尾 (占 12.8 %)，性別比率雌性明顯偏高 (Table 1)。若將捕獲的尾數按季節區分，發現雌性銀鰻在冬/春季樣本中所佔的比例，較其它季節者為高，夏/秋季則為最低 (春 25.0 %；夏 5.6 %；秋 4.3 %；冬 25.9 %)，雄性銀鰻在冬/春季樣本中所佔的比例較高，夏/秋季則為最低 (春 12.5 %；夏 0.0 %；秋 0.0 %；冬 13.6 %)。另外，銀化前期的雌鰻，於夏季樣本中所佔的比例較高，冬季則為最低 (春 25.0 %；夏 31.6 %；秋 17.4 %；冬 2.5 %)。綜此，日本鰻的銀化與季節有相當程度的關係。

二、日本鰻之銀化過程中生殖腺指數之變遷

在銀化過程中，雌雄之平均 GSI 均皆顯著的上升，雄鰻在黃鰻期為 0.1±0.0，在銀化期則上升至

0.2±0.0。雌鰻在黃鰻期為 0.3±0.0，在銀化前期為 0.5±0.1，在銀化期則上升至 1.3±0.1。各發育期之平均生殖腺指數有顯著性差異 ($p<0.001$, Table 2)。值得

注意的是，雄鰻之生殖腺的發育才剛開始，其生殖腺指數即使在銀化期仍然很小 (0.1-0.3) (Table 2)，而且顯著地低於雌性銀鰻 ($p<0.001$)。

Table 1. Sample distributions of the different developmental stages of Japanese eels.

		<i>Male</i>		<i>Female</i>		
		<i>Yellow</i>	<i>Silver</i>	<i>Yellow</i>	<i>Pre-silver</i>	<i>Silver</i>
Spring	Feb. 1999	0	1	3	2	2
Summer	May 1999	1	0	2	0	0
	Jun. 1999	0	0	4	5	1
	Jul. 1999	1	0	6	1	0
Autumn	Aug. 1999	1	0	17	4	1
Winter	Nov. 1998,1999	1	9	41	2	15
	Jan. 1999	1	2	4	0	6
Total		5	12	77	14	25

Table 2. Comparison of size, age, and fat store of the Japanese eel in different developmental stages with t-test for males and Tukey's HSD method for females, respectively.

	<i>Male</i>		<i>t-test</i>	<i>Female</i>			<i>Tukey's HSD</i>
	<i>Yellow</i>	<i>Silver</i>		<i>Yellow</i>	<i>Pre-silver</i>	<i>Silver</i>	
Specimens (n)	5	12		77	14	25	
TL (mm)	459.2±37.7 (362-591)	548.2±18.4 (441-631)	Y<S*	466.1±6.5 (334-578)	619.2±18.1 (504-709)	631.4±15.0 (498-785)	Y<P=S***
BW (g)	121.1±29.7 (54.7-226.3)	269.8±28.3 (148.0-461.5)	Y<S**	141.9±7.7 (47.4-371.4)	411.9±41.5 (182.6-702.0)	437.4±41.8 (163.6-829.3)	Y<P=S***
CF	1.2±0.0 (1.1-1.3)	1.6±0.1 (1.3-2.0)	Y<S***	1.3±0.0 (0.9-2.7)	1.7±0.1 (1.4-2.0)	1.6±0.1 (1.1-2.5)	Y<P=S***
Fat (%)	9.0±1.3 (5.3-11.2)	17.0±1.0 (11.5-20.5)	Y<S***	11.0±0.9 (1.5-23.0)	18.7±0.7 (14.1-23.2)	17.6±0.7 (12.5-24.6)	Y<P=S***
Age (year)	4.3±0.3 (3.5-5.0)	5.9±0.4 (4.0-8.0)	Y<S*	4.9±0.2 (3.0-9.0)	6.3±0.3 (5.0-7.5)	6.7±0.3 (4.0-10.0)	Y<P=S***
GSI	0.1±0.0 (0.0-0.1)	0.2±0.0 (0.1-0.3)	Y<S**	0.3±0.0 (0.0-0.7)	0.5±0.1 (0.2-0.9)	1.3±0.1 (0.7-2.2)	Y<P***<S** *
OD (μm)	-----	-----		61.2±1.3 (25-85)	98.8±2.4 (90-115)	146.9±2.4 (130-170)	Y<P***<S** *

Upper row: Mean ± SE; lower row: range. Significant levels: *, $p<0.05$; **, $p<0.01$; *** $p<0.001$.

三、日本鰻銀化時之體型、體脂率及其年齡

雌雄銀鰻的平均體長分別為 631.4 ± 15.0 mm 與 548.2 ± 18.4 mm；平均體重分別為 437.4 ± 41.8 g 與 269.8 ± 28.3 g；平均體脂率分別為 17.6 ± 0.7 % 與 17.0 ± 1.0 %；平均年齡分別為 6.7 ± 0.3 齡與 5.9 ± 0.4 齡 (Table 2)。雄性銀鰻的體長與體重較雌銀鰻者為低 ($p < 0.001$)，兩者間之體脂率及年齡

則無顯著差異 ($p > 0.05$)。日本鰻在成長過程中，體長、體重、體脂率與年齡間呈現正相關，其中僅雄鰻之體脂率與年齡相關性未達顯著標準 (Table 3, Fig. 2)。雄鰻銀化後，其平均體長、體重、肥滿度、體脂率以及年齡皆較銀化前為高 (Table 2)。銀化前期之雌鰻，其平均體長、體重、肥滿度、體脂率以及年齡與銀鰻者無顯著差異 ($p > 0.05$) (Table 2)。

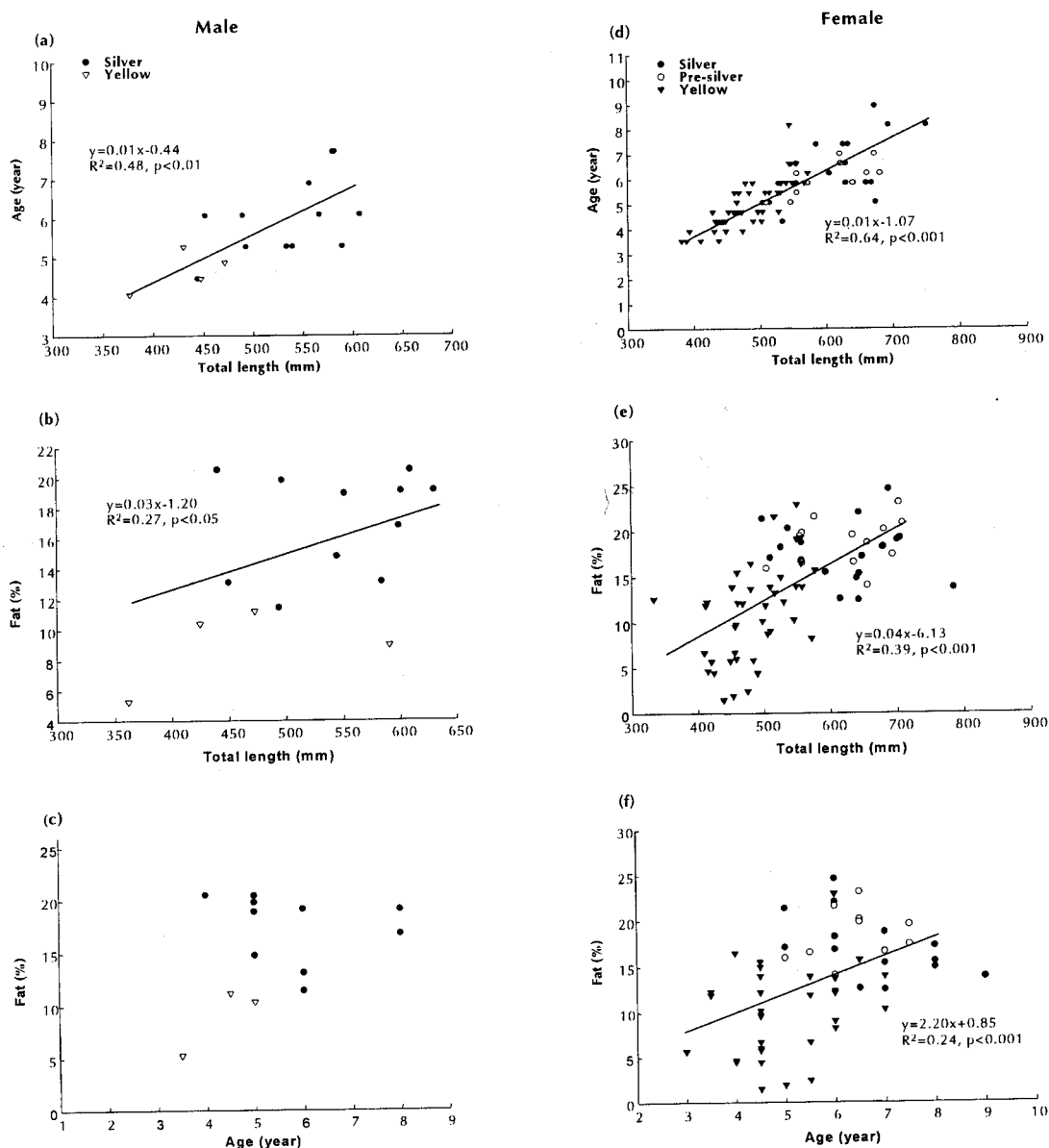


Fig. 2. Regressions of total length, age, and fat (%) on each other in the male (a, b, c, left panel) and female (d, e, f, right panel) Japanese eels. Dark circle: silver eel; white circle: pre-silver female; filled triangle: yellow female; white triangle: yellow male.

討 論

根據 Table 2 的統計結果, 銀化前期與銀化期之雌鰻, 不論在體型、肥滿度、體脂率或是年齡上, 皆無顯著差異, 但生殖腺快速發育, 表示銀化過程頗為迅速。銀化期的雌鰻主要出現在冬季, 其平均卵徑約 $147.0\ \mu\text{m}$, 而銀化前期之雌鰻則多集中在夏季, 其平均卵徑約 $98.8\ \mu\text{m}$ (Table 1, 2)。由此推論, 大多數日本鰻在夏季由黃鰻期開始進入銀化前期, 並於冬季時發育成為銀鰻。在銀化過程中, 背部體色逐漸黑化, 生殖腺快速發育, 但體型、肥滿度以及體脂率則已達飽和, 不再增加。雄鰻的銀化過程雖然較難細分, 但是銀化期之雄鰻主要亦出現在冬季, 而其各項型態指數之變化趨勢與雌鰻者相同 (Han et al. unpublished data), 生殖腺亦僅達初始發育階段, 故雄鰻之銀化模式應與雌鰻者相近。日本鰻的銀化顯然與季節有關, 但何種環境因子為誘發銀化之可能訊號? 一般生物多是以溫度周期或是光周期的變化, 作為啟動成熟的外部訊號⁽²⁶⁾, 日本鰻為一溫帶種, 而其分布南限位於亞熱帶, 其可能利用溫帶/亞熱帶的季節變化, 作為啟動銀化的外部訊號。根據 Table 1 的統計, 銀化前期之雌鰻, 在六月已明顯出現, 約當夏至期間 (由長日照轉變為短日照之分水嶺), 與上述假說吻合。此外, 日本鰻雖為一溫帶種, 但在高溫之水體中 ($> 30^{\circ}\text{C}$) 仍可成長良好, 其只分布於溫帶/亞熱帶地區之原因顯然與其溫度適應力無關。此一特徵亦支持上述假說, 亦即在四季不明顯的熱帶地區, 日本鰻即使正常成長, 卻可能無法順利銀化、成熟, 故無法於熱帶地區建立其族群。

根據 Table 2 的統計結果, 雄鰻的銀化體長為 $44 - 63\ \text{cm}$, 雌鰻則為 $50 - 79\ \text{cm}$, 雄鰻的銀化體型較雌鰻者為小, 此項現象與先前對歐洲鰻 (雄鰻: $35 - 41\ \text{cm}$; 雌鰻: $54 - 61\ \text{cm}$)⁽¹⁾, 美洲鰻 (雄鰻: $35 - 47\ \text{cm}$; 雌鰻: $40 - 94\ \text{cm}$)⁽¹¹⁾ 以及日本鰻 (雄鰻: $42 - 59\ \text{cm}$; 雌鰻: $51 - 71\ \text{cm}$)^(25, 26) 的研究結果相似。由於鰻魚為一次產卵型, 為了增加子代的產出量, 雌鰻的成長策略傾向於體型最大化 (Size maximum) 以增加孕卵數, 綜此, 雌雄在銀化體型上之差異, 應是性別造成之效應。

日本鰻銀化之啟動, 除了外在環境因子外, 亦需內在條件的配合。在銀化年齡方面, 歐洲鰻之雌鰻與雄鰻的銀化年齡分別為 $8 - 12$ 年與 $6 - 9$ 年⁽¹⁾, 美洲鰻之雌鰻與雄鰻的銀化平均年齡分別為 19.3 年與 12.7 年

⁽¹¹⁾, 中國珠江產之日本鰻, 其雌鰻與雄鰻的銀化平均年齡則分別為 8.3 年與 6.4 年⁽²⁶⁾, 這些數據顯示雄鰻的銀化年齡較雌鰻者為低。本研究中雌鰻的銀化平均年齡雖比雄鰻稍高 (Table 2), 但未達顯著水準 ($p > 0.05$), 與前人之研究結果不同, 可能的解釋是, 台灣南部所產的日本鰻, 因成長於亞熱帶區, 使得其成長速率較快, 因而縮短了銀化所需年齡, 而且其營養狀況可能因族群數量少而較佳, 對成長速率亦有正面助益。因此, 雌鰻與雄鰻的銀化年齡下降的結果, 導致兩者間之差異不明顯。當然, 雄鰻的樣本數較少, 而且銀化的年齡範圍又大 ($3 - 10$ 年), 增加了平均值的標準誤差, 亦可能是造成雌雄間銀化年齡差異不明顯的原因之一。

Frisch and McArthur⁽²⁷⁾ 首先提出, 青春期的誘發與體重達到某一水平有關, 此項假說後來由 Ronnekleiv et al.⁽²⁸⁾ 修正為青春期的誘發與體脂肪達到某一水平有關。以鰻魚來說, 降海之銀鰻其消化道明顯萎縮, 一般咸信其不再進食⁽¹⁾, 而生殖洄游與生殖腺的發育又需要大量之能量, 因此, 銀鰻必須累積足夠之脂肪方可生殖成功。又, 雖然雄鰻的銀化體型較雌鰻為小, 但雌鰻與雄鰻在銀化期之平均體脂率卻無顯著性差異, 暗示體脂率可能在鰻魚銀化之條件中扮演某種角色。以能量的觀點來看, 鰻魚銀化之啟動與體脂肪含量應有密切之關係。在歐洲鰻的研究中指出, 銀鰻之體脂率多介於 $10 - 28\%$ 之間⁽²⁹⁾。本研究顯示, 日本鰻之腸繫膜脂肪並不發達, 其脂肪主要囤積在肌肉中, 而雄鰻於銀化期之體脂率介於 $12 - 21\%$, 雌鰻則介於 $13 - 25\%$ (Table 2), 似乎 12% 之體脂率為日本鰻可否銀化之必要條件, 但顯然其並非充分條件, 因為如果體脂率為日本鰻可否銀化之主要決定因子, 則銀鰻之體脂率應集中於最低門檻稍高處, 而不可能範圍變異如此大 ($12 - 25\%$, Table 2)。

由前述討論可歸納出, 日本鰻之銀化與季節、體型、年齡以及體脂率皆有關聯, 並非由某單一決定性因子所能控制, 而這些因子彼此間又息息相關。如 Table 3 所示, 體型、年齡以及體脂率間互為正相關, 亦即鰻魚隨著年齡的增加而不斷的成長以及累積體脂肪, 而其成長又與季節相關。日本鰻的成鰻在冬季低水溫期間通常不攝食, 體脂肪的累積與成長暫停, 反之, 在夏季高水溫期間, 日本鰻的攝食旺盛, 為累積體脂肪與成長之主要時段。此外, 養殖的鰻魚在營養條件良好的狀況下, 僅需 $2 - 3$ 年即可達銀化體型並開始銀化 (Personal observation), 顯然比天然環境下所需的 4

年以上 (Table 2) 短縮。綜此，日本鰻銀化之啟動，應是由多種因子所共同影響、決定。

對人工繁殖用的種鰻來說，由於天然銀鰻的生殖腺已進入發育期，體型肥滿，年齡亦超過 4 齡，其對外源性促性腺激素之反應遠較黃鰻為高，因此，以天然

銀鰻進行人工催熟，當可收事半功倍之效。若要以養殖鰻進行催熟，亦應選擇近似天然銀鰻者。此外，對放流用的鰻魚來說，因銀鰻之生理變化對降海洄游已預先作好準備，因此，以銀鰻放流較有可能提升成功率。

Table 3. Correlation coefficients among total length (TL), body weight (BW), age, and fat components of the male (upper) and female (lower) Japanese eel.

	TL	BW	Age	Fat
TL		0.91***	0.69**	0.52*
BW	0.92***		0.66**	0.64*
Age	0.80**	0.65**		.30
Fat	0.62**	0.58**	0.49**	

Significant levels: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$.

謝辭

本文承台灣大學動物學系張至維、何杰騰兩位研究生，以及陳鈞宏助理之協助試驗，特此致謝。本研究係在行政院國家科學委員會補助之專題研究計畫 (NSC 89-2313-B056-008) 項下完成，謹此誌之。

參考文獻

1. Tesch, F. W. (1977) The Eel: Biology and Management of Anguillid Eels. London: Chapman and Hall.
2. Tsukamoto, K. (1992) Discovery of the spawning area for Japanese eel. *Nature*, **356**: 789-791.
3. Tsukamoto, K., I. Nakai and W. V. Tesch (1998) Do all freshwater eels migrate? *Nature*, **396**: 635-636.
4. Tzeng, W. N., C. H. Wang, H. Wickström and M. Reizenstein (2000) Occurrence of the semi-catadromous European eel *Anguilla anguilla* in the Baltic Sea. *Mar. Biol.*, **137**: 93-98.
5. Tzeng, W. N. and C. W. Chang (2000) Stock status and management prospect of the freshwater eel (*Anguilla* spp.) in Taiwan. In Abstracts of the 3rd East Asian Symposium on Eel Research - Sustainability of Resources and Aquaculture of Eels. Taiwan Fisheries Research Institute, Taiwan, p. 57.
6. Liao, I. C. (1997) Status, problems and prospects of stock enhancement in Taiwan. *Hydrobiologia*, **352**: 167-180.
7. Liao, I. C. (1999) How can stock enhancement and sea ranching help sustain and increase coastal fisheries? In Stock Enhancement and sea ranching, (Bari R. Howell, Erland Moksness and Terje Svåsand eds.). Blackwell Science, London, 132-149.
8. Ijiri, S., T. Kayaba, N. Takeda, H. Tachiki, S. Adachi and K. Yamauchi (1998) Pretreatment reproductive stage and oocyte development induced by salmon pituitary homogenate in the Japanese eel *Anguilla japonica*. *Fish. Sci.*, **64**: 531-537.
9. 廖一久，張賜玲 (1999) 魚塭培育之日本鰻之人工催熟技術改進。水產研究，**7**: 53-64. (in Chinese with English abstract).
10. Matsui, I. (1958) On the record of a leptcephalus and catadromous eels of *Anguilla japonica* in the waters around Japan with a presumption of their spawning places. *J. Shimonoseki Col. Fish.*, **7**: 151-167.
11. Jessop, B. M. (1987) Migrating American eels in Nova

- Scotia. Transact. Am. Fish. Soc., **116**: 161-170.
12. Pankhurst, N. W. and P. W. Sorensen (1984) Degeneration of the alimentary tract in sexually maturing European *Anguilla anguilla* (L.) and American eel *Anguilla rostrata* (LeSueur). Can. J. Zool., **62**: 1143-1149.
13. Marchelidon, J., M. Schmitz, L. M. Houdebine, B. Vida, N. LeBelle and S. Dufour (1996) Development of a radioimmunoassay for European eel growth hormone and application to the study of silvering and experimental fasting. Gen. Comp. Endocrinol., **102**: 360-369.
14. Pankhurst, N. W. (1982) Relation of visual changes to the onset of sexual maturation in the European eel *Anguilla anguilla* (L.) J. Fish Biol., **21**: 127-140.
15. Egginton, S. (1986) Metamorphosis of the American eel, *Anguilla rostrata* LeSueur: I. Changes in metabolism of skeletal muscle. J. Exp. Zool., **237**: 173-184.
16. Egginton, S. (1987) Metamorphosis of the American eel, *Anguilla rostrata* LeSueur: III. Contractile characteristics of skeletal muscle. J. Exp. Zool., **243**: 39-50.
17. Sorensen, P. W. and N. W. Pankhurst (1988) Histological changes in the gonad, skin, intestine and olfactory epithelium of artificially- matured male American eels, *Anguilla rostrata* (LeSueur). J. Fish Biol., **32**: 297-307.
18. Fontaine, Y. A., M. Pisam, C. L. Moal and A. Rambourg (1995) Silvering and gill 'mitochondria-rich' cells in the eel, *Anguilla anguilla*. Cell Tissue Res., **281**: 465-471.
19. Kleckner, R. C. (1980) Swimbladder wall guanine enhancement related to migratory depth in silver phase *Anguilla rostrata*. Comp. Biochem. Physiol., **65A**: 351-354.
20. Miura, T., K. Yamauchi, H. Takahashi and Y. Nagahama (1991) Hormonal induction of all stages of spermatogenesis *in vitro* in the male Japanese eel (*Anguilla japonica*). Pro. Nat. Acad. Sci. Uni. Stat. Am., **88**: 5774-5778.
21. Yamamoto, K. and K. Yamauchi (1974). Sexual maturation of Japanese eel and production of eel larvae in the aquarium. Nature, **251**: 220-222.
22. Tzeng, W. N., H. F. Wu and H. Wickström (1994) Scanning electron microscopic analysis of annulus microstructure in otolith of European eel *Anguilla anguilla*. J. Fish Biol., **45**: 479-492.
23. Firestone, D. (1997) Official Methods and Recommended Practices of the AOCS. Fifth edition. Aa 4-38.
24. Munro, A. D. (1990) General introduction. In Reproductive seasonality in teleosts: Environmental influences. Boca Raton, FL: CRC Press, 1-11.
25. Matsui, I. (1952) Studies on the morphology, ecology and pond culture of the Japanese eel (*Anguilla japonica* Temminck and Schlegel). J. Shimonoseki Col. Fish., **2**: 1-245.
26. Tzeng, W. N., H. R. Lin, C. H. Wang and S. N. Xu (2000) Differences in size and growth rates of male and female migrating Japanese eels in Pearl River. China. J. Fish Biol., **57**: 1245-1253.
27. Frisch, R. E. and J. W. McArthur (1974) Menstrual cycles: fatness as a determinant of minimum weight for height necessary for their maintenance or onset. Science, **185**: 949-951.
28. Ronnekleiv, O. K., S. R. Ojeda and S. M. McCann (1978) Undernutrition, puberty and the development of estrogen positive feedback in the female rat. Biol. Reprod., **19**: 414-424.
29. Svedäng H. and H. Wickström (1997) Low fat contents in females silver eels: indications of insufficient energetic stores for migration and gonadal development. J. Fish Biol., **50**: 475-486.

Yu-San Han¹, Wann-Nian Tzeng¹, Yung-Sen Huang² and I Chiu Liao^{2*}

¹Institute of Zoology, College of Science, National Taiwan University,
Taipei, Taiwan.

²Taiwan Fisheries Research Institute, 199 Hou-lh Road,
Keelung 202, Taiwan.

*Corresponding author, icliao@mail.tfrin.gov.tw

(Accepted 23 December 2000)



The Silvering of the Japanese Eel *Anguilla japonica* : Season Age, Size and Fat

Abstract

This study aims to understand the changes in age, total length, body weight, and muscle fat content in the Japanese eel *Anguilla japonica* during silvering, from yellow to silver eels, and their physiological significances. Eels were collected from the downstream of the Kaoping River of southern Taiwan from November 1998 through November 1999. The female eels were classified into three developmental stages based on external skin coloration and oocyte diameter, namely yellow, pre-silver and silver eel stages. The male eels were classified into yellow and silver eel stages only. The results showed that the occurrence of pre-silver females are found mainly in summer (Jun. - Aug.), while silver eels was found mainly in the winter and early spring (Nov. - Feb.), irrespective of sexes. The mean length and weight of the silver eels were 54.8 ± 1.8 cm and 269.8 ± 28.3 g in males, and were 63.1 ± 1.5 cm and 437.4 ± 41.8 g in females, respectively. The mean size of the silver female was significantly larger than that of males ($p < 0.001$). The mean age of the silver male and females were 5.9 ± 0.4 and 6.7 ± 0.3 years, respectively, and no significant difference was found between sexes ($p > 0.05$). The mean muscle fat contents in male and female silver eels were 17.0 ± 1.0 % and 17.6 ± 0.7 %, respectively, and no significant difference was found between sexes ($p > 0.05$). No significant differences of total length, body weight, age and muscle fat content were found between pre-silver and silver females ($p > 0.05$). During the growth phase of the yellow eels, the increases of total length, body weight, age and muscle fat content were positively correlated to each other ($p < 0.05$). These results indicated that the onset of silvering in the Japanese eels was season- related, and eels have to reach certain size, age, and muscle fat content for silvering to occur.

Key words: Japanese eel *Anguilla japonica*, Silvering, Size, Season, Age, Muscle fat content