

台灣鏟頰魚與台灣石鱚在改良型舟通式魚道上溯 時間之試驗研究

Up-migrated Time of *Varicorhinus Barbatulus* and *Acrossocheilus Formosanus* in Modified Boat-passage Fishways

蘭陽技術學院土木工程系
副教授

胡 通 哲

Tung-Jer Hu

行政院農業委員會特有生物研究保育中心
副研究員

莊 明 德

Ming-Der Juang

摘 要

以台灣鏟頰魚及台灣石鱚進行 24 小時共五場魚道試驗，試驗魚道為坡度 1/10、寬度 1.0m、長度 12.0m 的改良型舟通式魚道，試驗流量為 0.032cms。將累積上溯的試驗魚比例轉換成機率核之值，據以推求試驗魚百分之五十上溯時間（ T_{50} ），根據本研究五場試驗結果，台灣鏟頰魚 T_{50} 平均為 0.92 hr，台灣石鱚為 1.11hr，整體而言台灣鏟頰魚上溯的速度較快。

關鍵詞：台灣鏟頰魚，台灣石鱚，機率核，改良型舟通式魚道，百分之五十上溯時間。

ABSTRACT

This paper provides analysis methods for evaluating the time of 50% up-migrated fish. Some experiments were done for the up-migrated fishes including *Varicorhinus barbatulus*, *Acrossocheilus paradoxus*, time duration was 24 hours. The slope of tested fishway (modified boat-passage fishway / modified Larinier fishway) was 1/10, width was 1.0m, length was 12.0m, discharge was 0.032 cms. Transform the cumulative percent of up-migrated fish to the value of Probit, then compute the time of cumulative 50% up-migrated fish (T_{50}). As to the experiments, the T_{50} of the *Varicorhinus barbatulus* fish was 0.92 hours and the *Acrossocheilus paradoxus* fish was 1.11 hours. The average speed of the up-migration of the *Varicorhinus barbatulus* fish was faster than the

Acrossocheilus paradoxus fish.

Keywords: *Varicorhinus barbatulus*, *Acrossocheilus paradoxus*, Probit, Modified boat-passage fishway, Time of cumulative 50% up-migrated fish.

一、前言

「改良型舟通式」魚道係將法國人 Larinier 氏 (1984) 之舟通式魚道改良而得，主要概念為增加魚類避難休息空間 (dented space)，使其在防砂壩的應用更具可行性，在日本已有多處建造此型魚道如 Akigawa-river (Kohchi prefecture), Naganogawa-river (Fukuoka prefecture), Ohtagawa river (Hiroshima prefecture), and Samukawa-river (Kanagawa prefecture) 等 (Nakamura, 2002)。

在台灣改良型舟通式魚道起始於農委會資助的「防砂壩魚道限地改善之試驗研究」計畫，首先進行八寶圳試驗魚道研究站的系列試驗，曾經試驗的魚種包括台灣鏟頰魚、台灣石鱚、褐吻鰕虎、粗首鰕、鱸鰻與白鰻等魚種，曾經試驗過的坡度包含 1/3、1/4、1/5、1/6、1/8、1/10 等 (胡，2001)，後將此型魚道應用在台中縣的烏石坑溪防砂壩魚道改善 (胡等，2000)、宜蘭縣仁澤多望溪防砂壩魚道改善 (胡等，2002)、宜蘭縣福德溪固床工魚道新建、嘉義縣八掌溪軍輝橋固床工魚道新建，宜蘭縣坑溪防砂壩魚道新建，台北縣大屯溪取水堰魚道新建工程等。

在台中縣烏石坑溪的野外，流速在 1.5 ~1.7 m/sec 間的改良型舟通式魚道，台灣鏟頰魚可順利上溯 (最多可達 70%)，但流速在 2.0 ~2.5 m/sec 間，沒有任何上溯的記錄 (胡等，2000)，對於台灣鏟頰魚，渠中常 (低) 流量的流速不應超過 1.7 m/sec。在仁澤多望溪的野外試驗，坡度 11.7% 但長度 105m 的改良型舟通式魚道，台灣鏟頰魚僅有 26% 可以上溯 (胡等，2002)，對於魚類的生態工法工程設計，過長的急流段應避免，一般急流段長度不應超過 10m，落差不應超過 2m。在鱸鰻與白鰻的試驗中，改良型舟通式魚道可為鱸鰻與白鰻利用，但流量不宜過大 (胡等，2002)。陳等 (2002) 則進行此型魚道之水理與

流量試驗推估，試驗魚道坡度在 1/8、1/10 情形下的堰頂溢流水深與流量間的公式關係。

本研究利用機率核分析 (Probit analysis) 理論應用在魚類在改良型舟通式魚道整體上溯速度與時間之比較，此法在 1935 年開始廣泛的應用在生物學的資料分析上 (Finney, 1952)，過去通常是應用在藥劑濃度對生物存活反應分析，但是應用在魚道的試驗結果，過去曾經計算台灣鏟頰魚及台灣石鱚在階段式魚道中上溯的百分之五十所需時間 (胡等，1999)。本研究則針對改良型舟通式魚道進行試驗，藉由 24 小時內不同的觀測時間間隔，計算上溯至魚道上池的魚數目，繪製累積魚上溯比例相對時間曲線，然後利用機率核轉換 (probit transformation) 方法將之轉換成近似直線，找出百分之五十 (50%) 上溯率所相對應的時間，稱之為 T_{50} ，試驗魚種為台灣鏟頰魚與台灣石鱚，用以比較兩種魚的整體上溯速度以何者為快？

二、研究方法

2.1 材料與方法

本研究利用位於八寶圳的「試驗魚道研究站」進行試驗，試驗用的改良型舟通式魚道 (圖 1)，以銼管、萬向接頭、角材及合板建造試驗所需的木製魚道，魚道的主槽以合板及 1.5 寸的角材組成，魚道內部的阻流材則以三寸角材所敷設，支撐材則是以 1.5 寸的銼管、萬向接頭所構成，萬向接頭間的間隙可容許適度的位移。魚道主槽長度皆為 12m，寬為 1m，坡度為 1/10。試驗用水抽取自八寶圳水，試驗流量為二部管徑三吋之抽水機同時抽水，兩部抽水機同時運轉為 0.032cms。魚道上池設置捕魚陷阱，陷阱以不銹鋼作支架，包覆鋼絲網，使試驗魚只能進入無法逃出。

試驗時間從下午二時至隔日下午二時，總共



圖 1 改良型舟通式魚道試驗設施

二十四小時，於固定時間至上池陷阱處計算上溯進入陷阱數量，並記錄水質日照等外在環境因素，於試驗結束後分別量測上溯與未上溯試驗魚之體長、體高、體重等資料。

對於試驗魚以無倒勾垂釣法為主要的採集法，採集地點以大甲溪、大安溪流域為原則，試驗結束將試驗魚釋回溪流中。試驗魚之採集至少於試驗前 3 天進行，通常置於研究站魚道下池暫養，以天然的圳水流動以延長其馴化時間，台灣鏟頰魚、台灣石鱚，試驗樣本數為 50 尾（N=50）。

2.2 分析理論

本研究假定魚類上溯的歷程分布為常態分布（normal distribution），因此其累積上溯百分比（%）與時間延時（time duration）的關係應為 S-curve，但是在某些條件下，魚類上溯比例無法達到 50%，可藉由 probit 轉換方法轉換成一直線（Finney, 1952），藉以推估魚類的百分之五十上溯時間，並評估魚類整體上溯速度的快慢。下式為機率的常態分布公式：

$$P = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x_0} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(x-\mu)^2} dx \quad (1)$$

上式中的 x 可被視為機率單元（probability unit），亦可稱之為機率核（probit）。式中 σ 為

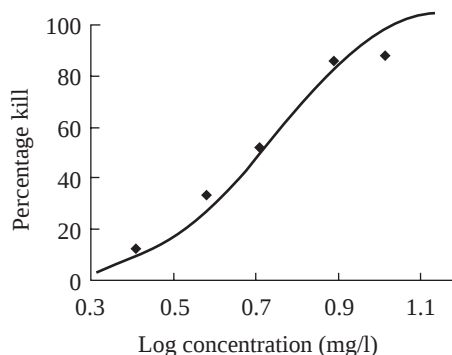


圖 2 殺蟲劑的濃度與蚜蟲致死比率。（source: Finney, 1952）

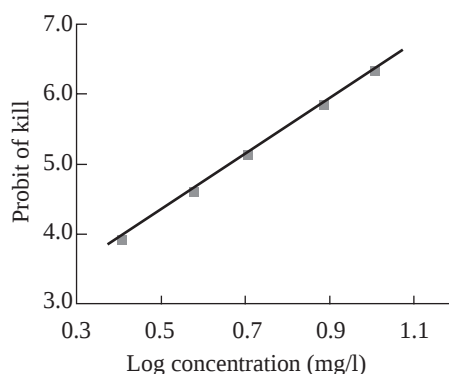


圖 3 殺蟲劑的濃度與蚜蟲致死的機率核值。（source: Finney, 1952）

標準偏差， μ 為平均值， Y 為 probit 的期望值，如下式：

$$Y = 5 + \frac{1}{\sigma}(x - \mu) \quad (2)$$

故在 x 等於平均值 μ 時， $Y=5$ ，這套理論在環境毒物學的應用歷史已將近半個世紀，但應用在魚道的分析上則不多見，本研究藉由二個月一次的試驗，收集多組試驗資料，以進行分析。

舉例來說，在過去曾經以某種蚜蟲（*Macrosiphoniella sanborni*）作為測試對象，分別用不同濃度的殺蟲劑-魚藤酮（Rotenone）測試其致死比例，所得的結果如圖 2（Finney, 1952），利用機率核轉換理論將原本的 S 曲線轉換成近似直線（圖 3），這樣的理論對於魚道的上溯試驗結果分析有個好處，當魚類上溯無法達到 50%

表 1 台灣鏟頰魚在改良型舟通式魚道的累積上溯尾數與環境因子

(上溯魚體長 10.78 ± 1.86 cm、體高 1.75 ± 0.36 cm、體重 12.70 ± 7.40 g；未溯魚體長 9.88 ± 0.95 cm、體高 1.70 ± 0.26 cm、體重 11.20 ± 3.70 g，91.7.17)

時間	累積上溯尾數	氣溫 $^{\circ}\text{C}$	水溫 $^{\circ}\text{C}$	濁度(ntu)	溶氧(mg/l)	日照度(LUX)
15:00	18	29	28	65.9	6.5	11850
16:00	36	24	23	124.7	7.4	9090
17:00	45	25	22.7	59.2	7.1	3370
20:00	45	24	22	236	7.3	0
01:00	45	22	21	71.1	7.2	0
14:00	45	24	23	65	6.8	12010

表 2 台灣鏟頰魚在改良型舟通式魚道的累積上溯尾數與環境因子

(上溯魚體長 11.31 ± 1.32 cm、體高 1.92 ± 0.35 cm、體重 14.40 ± 6.74 g；未溯魚體長 6.21 ± 0.69 cm、體高 0.75 ± 0.18 cm、體重 2.57 ± 0.85 g，91.9.26)

時間	累積上溯尾數	氣溫 $^{\circ}\text{C}$	水溫 $^{\circ}\text{C}$	濁度(ntu)	溶氧(%)	日照度(LUX)
15:00	22	27	24	23.2	86.5	35300
16:00	33	26.5	23.7	24.5	87.4	12000
17:00	36	25	22.9	24.9	131.1	8140
20:00	38	22	22.5	20.6	79.8	0
01:00	0	21.5	22	16.7	83.2	0
14:00	40	28.5	25.4	23.5	87.1	36400

表 3 台灣鏟頰魚在改良型舟通式魚道的累積上溯尾數與環境因子

(上溯魚體長 11.05 ± 1.77 cm、體高 2.16 ± 1.81 cm、體重 13.88 ± 6.97 g；未溯魚體長 6.21 ± 0.66 cm、體高 0.74 ± 0.11 cm、體重 2.71 ± 0.82 g，91.9.27)

時間	累積上溯尾數	氣溫 $^{\circ}\text{C}$	水溫 $^{\circ}\text{C}$	濁度(ntu)	溶氧(%)	日照度(LUX)
15:00	26	27.5	24.1	23.4	85.3	34400
16:00	29	26.4	23.5	24.9	87.2	32600
17:00	34	25	23.7	26.5	90.1	8530
20:00	37	22.5	23.5	19.8	100	0
01:00	42	22.1	22	18.9	83.2	0
14:00	42	29.1	25.8	23.9	87.3	36400

以上，可以利用試驗數據將原本的 S 曲線轉換成直線，再利用外插得到 50% 的上溯時間，由於行進的距離皆一樣，再由時間推求速度之快慢。

三、結果與討論

3.1 台灣鏟頰魚

以台灣鏟頰魚進行試驗，共進行五場試驗，試驗日期分別為 91 年 7 月 17 日、9 月 26 日、9 月 27 日、11 月 11 日、11 月 12 日總共五場。紀

錄各時間的上溯累積數量及水質環境因子，分別列於表 1, 2, 3, 4 與 5。

將各場台灣鏟頰魚累積上溯比例(%)以 Probit 理論轉換，所得的 Probit 值列於表 6，依據表中各場試驗的結果可作圖，橫座標為時間延時取對數值(Log T)，縱座標為 Probit 值，再找出 Probit 值為 5.0 時所相對應的時間延時，此數值即為百分之五十上溯時間 T_{50} 。分別為 1.30、1.20、0.79、0.68 與 0.64 hr，平均值為 0.92 hr。

表 4 台灣鏟頰魚在改良型舟通式魚道的累積上溯尾數與環境因子

(上溯魚體長 11.53 ± 1.96 cm、體高 1.94 ± 0.48 cm、體重 16.30 ± 9.46 g；未溯魚體長 11.11 ± 0.88 cm、體高 1.92 ± 0.14 cm、體重 14.22 ± 4.28 g，91.11.11)

時間	累積上溯尾數	氣溫 $^{\circ}\text{C}$	水溫 $^{\circ}\text{C}$	濁度(ntu)	溶氧(mg/l)	日照度(LUX)
15:00	37	21.2	19	12.1	7.1	11350
16:00	38	20	18.7	9.8	8.9	10130
17:00	39	19	18	9.6	9.1	8012
20:00	39	18.1	19	9.7	8.7	0
01:00	39	18	19.1	10.2	6.8	0
14:00	41	28	23	15.8	7.2	62500

表 5 台灣鏟頰魚在改良型舟通式魚道的累積上溯尾數與環境因子

(上溯魚體長 11.48 ± 1.85 cm、體高 1.94 ± 0.46 cm、體重 16.12 ± 8.94 g；未溯魚體長 10.13 ± 0.85 cm、體高 1.73 ± 0.10 cm、體重 10.00 ± 1.15 g，91.11.12)

時間	累積上溯尾數	氣溫 $^{\circ}\text{C}$	水溫 $^{\circ}\text{C}$	濁度(ntu)	溶氧(mg/l)	日照度(LUX)
15:00	39	26	22.8	12.4	6.7	11400
16:00	39	25.5	22	9	7.9	10260
17:00	39	25	21.6	9.4	8.3	8130
20:00	40	24.1	21	13.6	6.9	0
01:00	40	23	20.5	8.7	7.5	0
14:00	46	27.5	22.7	10.2	8.7	60180

表 6 台灣鏟頰魚各場試驗之類積上溯比例相對應的 Probit 值

Time duration (hr)	91.7.17	91.9.26	91.9.27	91.11.11	91.11.12
1	4.64	4.85	5.05	5.64	5.77
2	5.58	5.41	5.2	5.71	5.77
3	6.28	5.58	5.47	5.77	5.77
6	6.28	5.71	5.64	5.77	5.84
11	6.28	5.71	5.99	5.77	5.84
24	6.28	5.84	5.99	5.92	6.41

在表 1，上溯魚體長 10.78 ± 1.86 cm，未溯魚體長 9.88 ± 0.95 cm；在表 2 上溯魚體長 11.31 ± 1.32 cm，未溯魚體長 6.21 ± 0.69 cm；在表 3，上溯魚體長 11.05 ± 1.77 cm，未溯魚體長 6.21 ± 0.66 cm；在表 4，上溯魚體長 11.53 ± 1.96 cm，未溯魚體長 11.11 ± 0.88 cm；在表 5，上溯魚體長 11.48 ± 1.85 cm，未溯魚體長 10.13 ± 0.85 cm。對照上溯與未上溯的體長，發現上溯的台灣鏟頰魚的平均體長（ 11.23 cm）皆大於未上溯魚（ 8.71 cm）。

3.2 台灣石鱗

以台灣石鱗進行試驗，本年度共進行五場試

驗，試驗日期與台灣鏟頰魚同時為 91 年 7 月 17 日、9 月 26 日、9 月 27 日、11 月 11 日、11 月 12 日總共五場。紀錄各時間的上溯累積數量於表 7，分別將每場試驗的上溯魚與未上溯魚所量得的體長、體高、體重列於表 8。

將各場台灣石鱗累積上溯比例(%)以 Probit 理論轉換，所得的 Probit 值列於表 9，依據表 6 各場試驗的結果可作圖，橫座標為時間延時取對數值(Log T)，縱座標為 Probit 值，再找出 Probit 值為 5.0 時所相對應的時間延時，此數值即為百分之五十上溯時間 T_{50} 。分別為 1.69、1.31、1.18、0.71 與 0.66 hr，平均值為 1.11hr，相對於台灣鏟

表 7 台灣石鱚於各場試驗在改良型舟通式魚道的累積上溯尾數。(N=50)

時間	91.7.17	91.9.26	91.9.27	91.11.11	91.11.12
15:00	16	23	18	35	38
16:00	28	28	20	37	40
17:00	40	28	23	39	40
20:00	40	28	23	40	40
01:00	40	28	31	40	40
14:00	40	30	31	43	43

表 8 台灣石鱚的上溯魚與未上溯魚之體長體高體重

日期	上溯魚			未上溯魚		
	體長 cm	體高 cm	體重 g	體長 cm	體高 cm	體重 g
91.7.17	7.58 $\pm$ 1.43	1.37 $\pm$ 0.19	6.35 $\pm$ 2.07	6.95 $\pm$ 2.36	1.41 $\pm$ 0.17	6.70 $\pm$ 2.41
91.9.26	9.17 $\pm$ 1.75	1.75 $\pm$ 0.39	10.27 $\pm$ 9.65	6.21 $\pm$ 0.67	0.78 $\pm$ 0.18	2.68 $\pm$ 0.94
91.9.27	9.01 $\pm$ 1.35	1.72 $\pm$ 0.38	8.66 $\pm$ 3.38	6.18 $\pm$ 0.66	0.73 $\pm$ 0.12	2.56 $\pm$ 0.81
91.11.11	8.38 $\pm$ 1.18	1.52 $\pm$ 0.32	6.91 $\pm$ 3.14	7.89 $\pm$ 0.61	1.34 $\pm$ 0.24	5.50 $\pm$ 1.35
91.11.12	8.43 $\pm$ 1.14	0.50 $\pm$ 0.32	6.86 $\pm$ 3.03	7.83 $\pm$ 0.62	1.31 $\pm$ 0.23	5.24 $\pm$ 1.37

表 9 台灣石鱚各場試驗之類積上溯比例相對應的 Probit 值

Time duration (hr)	91.7.17	91.9.26	91.9.27	91.11.11	91.11.12
1.00	4.53	4.9	4.64	5.52	5.71
2.00	5.15	5.15	4.75	5.64	5.84
3.00	5.84	5.15	4.9	5.77	5.84
6.00	5.84	5.15	4.9	5.84	5.84
11.00	5.84	5.15	5.31	5.84	5.84
24.00	5.84	5.25	5.31	6.08	6.08

頰魚，上溯較慢。

在表 8 中，台灣石鱚在 5 場試驗中的上溯魚體長分別為 7.58 $\pm$ 1.43cm、9.17 $\pm$ 1.75cm、9.01 $\pm$ 1.35cm、8.38 $\pm$ 1.18cm、8.43 $\pm$ 1.14cm，未上溯魚體長依次分別為 6.95 $\pm$ 2.36cm、6.21 $\pm$ 0.67cm、6.18 $\pm$ 0.66cm、7.89 $\pm$ 0.61cm、7.83 $\pm$ 0.62cm。台灣石鱚的上溯魚的平均體長（8.51cm）皆大於未上溯魚（7.01cm）。

四、結 論

1. 根據台灣鏟頰魚與台灣石鱚在改良型舟通式魚道的五場試驗，台灣鏟頰魚的平均 50%上溯時間為 0.92hr，台灣石鱚為 1.11hr，若是比較每一場的 T_{50} ，台灣鏟頰魚所需的 T_{50} 時間均小

於台灣石鱚。就現有試驗結果顯示，在相同的溯游距離，花費時間較少的速度較快，因此台灣鏟頰魚上溯速度較台灣石鱚快，在本研究試驗的多個季節時間點，均呈現相同的趨勢，這個結果與野外觀測的心得接近，亦即是說，台灣鏟頰魚對於利用該型魚道進行洄游可能有較大的需求或動機或是台灣鏟頰魚有較強的游泳能力，本研究提供一個初步的結論，但尚需更多的試驗來支持。

2. 對於未上溯與上溯魚的體型分析，台灣鏟頰魚，上溯魚的平均體長（11.23cm）大於未上溯者（8.71cm），台灣石鱚上溯魚的平均體長（8.51cm）大於未上溯者（7.01cm），這亦符合體長較長的魚類，游泳能力較強的定理。

誌 謝

本文承農委會特有生物研究保育中心產學計畫「改良型舟通式魚道設置之研究與應用」經費資助，另外研究期間承棲地生態組同仁蕭正忠先生的試驗協助，在此一併致謝。

參考文獻

1. 胡通哲、張世倉、李訓煌，1999，八寶圳階段式魚道之設計與試驗，中華水土保持學報 30(1)，第 25-32 頁。
2. 胡通哲、張世倉、葉明峰，2000，防砂壩改良型舟通式魚道之試驗研究，中華水土保持學報 31(2)，第 93-98 頁。
3. 胡通哲，2001，坡度對魚類在改良型舟通式魚道溯游影響之研究，第十二屆水利工程研討會論文集，第 F47-54 頁。
4. 胡通哲、陳鴻烈，2002，仁澤一號防砂壩魚道現地改善之設計施工與評估，台灣林業 28 (2)，第 19-23 頁。
5. 胡通哲、李訓煌，2002，鱸鰻與白鰻在魚道溯游之試驗研究，中華水土保持學報 33(4)，第 283-289 頁。
6. 陳樹群、王順昌，2002，魚骨型魚道之水理及泥沙特性試驗研究，中華水土保持學報 33(4)，第 271-282 頁。
7. Finney, D. J., 1952. Probit analysis, Cambridge Press.
8. Larinier, M., 1984. Dispositif mixte passe a poissons-glissiere a canoe-kayak Rapp. Preliminaire non publie, 19. (法文)
9. Nakamura, S., 2002. Introduction and examples of refuge attached boat-passage fishway. Hokkaido Agriculture Engineering 24, 3-13. (in Japanese)

收稿日期：民國 92 年 10 月 15 日

修正日期：民國 93 年 6 月 18 日

接受日期：民國 93 年 6 月 25 日