

人工濕地鯉魚捕撈平衡模擬

陳鈞華⁽¹⁾、宋建明⁽²⁾、甘俊二⁽³⁾

⁽¹⁾屏東科技大學土木工程系副教授、水利技師

⁽²⁾屏東科技大學土木工程系博士生

⁽³⁾七星農田水利基金會董事長、水利技師

摘要

本研究藉由總產卵參數、存活率、自然死亡率估計補撈係數、總收穫量來探討南台灣人工濕地鯉魚族群之族群動態，加以評估人工濕地之鯉魚物種資源的永續利用。以養殖方式確認已知年齡之養殖鯉魚魚齡、平均重量、產卵量、孵化期、存活率、自然死亡率。依此條件建立人工濕地補撈平衡模式，推估模擬 1、2、3、4 齡魚存活數量變化，並得到於人工濕地中最佳捕獲數量鯉魚總重量 295,407 (kg)。根據模式結果可提供人工濕地規劃設計者一個魚群可管理控制之依據，並達到生物多樣性和永續資源再利用之目的。

關鍵詞：人工濕地、鯉魚、補撈平衡模式。

一、研究動機目的

鯉魚雖然性喜溫暖 20 °C 以上，可容忍極久之接近 0 °C 低溫，亦可容忍溫度之驟變，為一種易生存於台灣任何環境下的物種。在水中完全無氧的狀態下，多數鯉魚 超過 80% 至少可存活 5 日；在僅有 1-2 ppm 溶氧之低氧狀態，亦能生存數週至數月。此為可與人工濕地共存特性。鯉魚主食為底棲生物、浮游動物，螺、貝、昆蟲

及紅筋虫等均喜攝食，亦攝食植物種子、水生植物、底屑等，為雜食性魚種，人工濕地中亦生存著以上物種。本研究以易存活於人工濕地，可適時補撈養殖於人工濕地之鯉魚，同時維持人工濕地之環境多樣性。以此建立起人工濕地對鯉魚之再生資源最佳補撈模式，探討其最佳補撈強度係數、每齡魚存活數量、最大補撈量。

二、材料及方法

2.1 模擬之假設

(1)人工濕地是獨立的生態群落，鯉魚群為獨立物種，不存在與其他生物的競爭，若有競爭，影響限於魚的自然死亡率內。(2)鯉魚群分 $n=4$ 個魚齡組，前 $k-1$ 個年齡組為幼魚無產卵能力，從第 $k=1$ 個年齡組為成魚有產卵能力，各魚齡組每條魚

的平均重量分別為 $g_i(i=1,2,\dots,n)$;(3)以年為時間單位，將 1 年分為兩個階段，前 6 個月時間段內進行產卵期，為禁捕期，為捕撈期，後 6 個月時間段為捕撈作業；(4)雖然魚群本身是離散的，突然增加或減少的只是少數個體，與整體相比很微小，則假設魚群數量隨時間連續變化，記為 $x_i(t)$ ；

(5) 鯉魚為季節性集中產卵繁殖，平均每條成魚的產卵量為 $q_i (i=s, s+1, \dots, n)$ 時，定義每條鯉魚平均產卵量為所有鯉魚平均值，在禁捕期內集中性產卵，假設繁殖期內各成魚組的平均存活尾數為進行產卵的總數；(6) 每年投入捕撈能力(如下網次數等)固定不變，即單位時間捕撈量與各魚齡組魚群條數成正比，比例係數稱為捕撈強度係數。定義：各魚齡補撈強度係數 = 單位時間的補撈量/各魚齡魚群條數。對第 i 年齡組魚群的捕撈強度係數為 $u_i (i=s, s+1, \dots, n)$ 且 u_i 之間關係為 $G(u_s, u_{s+1}, \dots, u_n) = 0$ ，假設 1、2 齡魚不允許補撈，3、4 齡魚允許補撈係數比為 1:2；(7) 各魚齡組的自然死亡率均為 r (1/年)，存活率(第 1 魚齡組的數量與產卵總數之比)為 m ，且產卵總數 ρ 與存活率 m 之間關係為： $R(m, \rho) = 0$ 。

根據假設(5)，鯉魚在每年的禁補期集中性一次產卵，則年總產卵量 ρ 可表示如下：

$$\rho = \sum_{i=s}^n q_i \int_a^1 \frac{x_i(k)}{1-a} dk = \sum_{i=s}^n q_i x_i(t) \int_a^1 \frac{e^{-u_i a - rk}}{1-a} dk \dots \dots (1)$$

存活率為 m ，第 1 齡魚群在第 $t+1$ 年年初的數量可表示為：

$$x_1(t+1) = \sum_{i=s}^n q_i * m * x_i(t) \int_a^1 \frac{e^{-u_i a - rk}}{1-a} dk \dots \dots (2)$$

其中， $i=s, s+1, \dots, n$ 。

假設鯉魚於 5 月前產卵完畢，7 月底卵全部孵化完畢，以週期 1 年為單位考慮魚群在 1 年內的變化。2 齡魚數量的初始值等於 1 齡魚的末時段數值，3 齡魚數量的初始值等於 2 齡魚的末時段數值，4 齡魚數量的初始值等於 3 齡魚的末時段數值。

2.2 模式條件說明

由 Scheafer 模型和表 1 建立各齡魚之微分方程式：

表 1 養殖鯉魚參數量測量表

齡魚 \ 項目	平均重量 (kg)	自然死亡率	產卵量 (kg)
1	0.3	0.75	0
2	0.5	0.56	0
3	1	0.4	$1.0 * 10^5$
4	1.2	0.8	$0.5 * 10^5$

可得持續每年最大補撈重量為：

$$\max[\text{totalfish}(u_i)] = 0.9 \int_0^{2/3} (0.5 * u_i * \text{fish31}) dt + 1.2 \int_0^{2/3} (u_i * \text{fish41}) dt \dots \dots \dots (3)$$

s.t.

$$\frac{d\text{fish1}}{dt} = -0.75 * \text{fish1}, 0 \leq t \leq 1, \text{fish1}(0) = \text{fish10} \dots (4)$$

$$\frac{d\text{fish2}}{dt} = -0.56 * \text{fish2}, 0 \leq t \leq 1, \text{fish2}(0) = \text{fish1}(1) \dots (5)$$

$$\frac{d\text{fish31}}{dt} = -(0.4 + 0.4 * \rho) \text{fish31}, 0 \leq t \leq 2/3, \text{fish31}(0) = \text{fish2}(1) \dots (6)$$

$$\frac{d\text{fish32}}{dt} = -0.4 \text{fish32}, 2/3 \leq t \leq 1, \text{fish32}(2/3) = \text{fish31}(1) \dots (7)$$

$$\frac{d\text{fish41}}{dt} = -(0.8 + \rho) \text{fish41}, 0 \leq t \leq 2/3, \text{fish41}(0) = \text{fish32}(1) \dots (8)$$

$$\frac{d\text{fish42}}{dt} = -0.8 \text{fish42}, 2/3 \leq t \leq 1, \text{fish42}(2/3) = \text{fish41}(1) \dots (9)$$

$\max[\text{totalfish}]$ ：最大補撈量

u_i ：捕撈強度係數

ρ ：年產卵量

fish10：1 齡魚初始數量；fish11：前 6 個月 1 齡魚

fish12：後 6 個月 1 齡魚

fish20：2 齡魚初始數量；fish21：前 6 個月 2 齡魚

fish22：後 6 個月 2 齡魚

fish30：3 齡魚初始數量；fish31：前 6 個月 3 齡魚

fish32：後 6 個月 3 齡魚

fish40：4 齡魚初始數量；fish41：前 6 個月 4 齡魚

fish42：後 6 個月 4 齡魚

三、結果與討論

3.1 最佳補撈強度函數分析結果

經由各齡魚之微分方程組得知最佳捕撈強度係數 $u_i = 2.1928$ (年)

得知最大捕撈量模擬經驗式：

$$\max[\text{totalfish}] = 0.9 \int_0^{2/3} (0.5 * 1.9653 * \text{fish}_{31}) dt + 1.2 \int_0^{2/3} (1.9653 * \text{fish}_{41}) dt$$

由圖 1 所示可得知最大捕撈量為 $4.8338 * e_{10}(1/\text{kg}) = 295,407(\text{kg})$ 。

可持續補撈之各齡魚群的初始數量，分別如下：

1齡魚數 = $1.2 * e_{11} = 71,849$ (隻)

2齡魚數 = $2.5403 * e_{11} = 152,098$ (隻)

3齡魚數 = $1.5408 * e_{11} = 92,254$ (隻)

4齡魚數 = $5.7553 * e_{10} = 344,594$ (隻)。

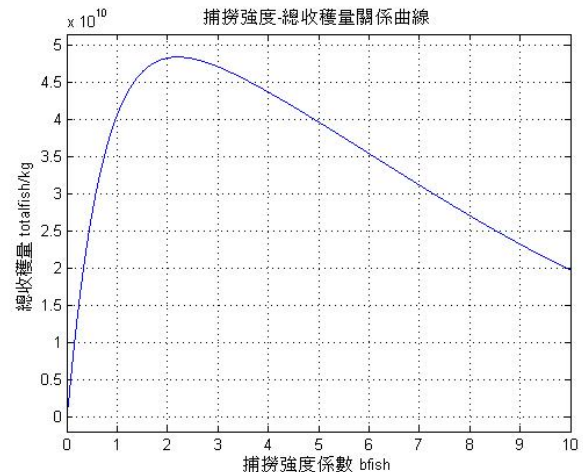


圖1 補撈強度係數和總捕獲量關係曲線

四、結果與建議

1.本研究鯉魚(Cyprinus carpio carpio) 可以在人工濕地中與之共存之經濟價值的物種。人工濕地屬於可存活多樣性物種的環境，以中長期而言可對抗環境變化，使得本研究之物種鯉魚得以生長、繁殖。如能加以管理及保育，可視成爲一

種永續的資源。

2.經由客觀的合理假設，4 齡魚生存的數量很少，假設其全部都被補撈或全部自然死亡，依據模擬結果表示其經驗式爲，最大補撈量爲 295,407(kg)。

參考文獻

- 1.鯉魚之生態、生理與其高濃度之鋅，鄭森 雄，2006，日台灣水產學會 2006 年學術論文發表會。
- 2.Mathieu Basille , Cle' ment Calenge , E' ric Marboutin ,et al. (2008) Ssessing habitat selection using multivariate statistics : Some refinements of the ecological-niche factor analysis [J] .Ecological Modelling, ,211 :

233-240.

- 3.Kapur V, Troy D and Oris J (1997) A Sustainable Fishing Simulation Using Mathematical Modeling Crossroads.
- 4.Sparre, Per and Hart, Paul J B (2002) Handbook of Fish Biology and Fisheries, Chapter13: Choosing the best model for fisheries assessment. Blackwell Publishing.