

## 人工濕地草魚捕撈平衡模擬

陳鈞華<sup>(1)</sup>、宋建明<sup>(2)</sup>、蔡瀚德<sup>(3)</sup>、徐貴新<sup>(4)</sup>、甘俊二<sup>(5)</sup>

<sup>(1)</sup>屏東科技大學土木工程系副教授、水利技師

<sup>(2)</sup>屏東科技大學土木所博士班

<sup>(3)</sup>屏東科技大學土木所碩士班

<sup>(4)</sup>東南科技大學環境管理系副教授兼研發處處長、水利技師

<sup>(5)</sup>七星農田水利研究發展基金會董事長、水利技師

### 摘 要

本研究藉由草魚總產卵參數、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草魚族群之族群動態，加以評估人工濕地之草魚物種資源的永續利用。以養殖方式確認已知年齡之養殖草魚魚齡、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草魚總重量 100,220(kg)和最佳捕獲時間 2.102 年。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、草魚、補撈平衡模式。

### 一、研究動機目的

草魚是一種典型的攝食大型水生植物的魚類。在天然水域中，它攝食水生植物具有一定的選擇性，比較喜歡覓食之種類有茆草 (*Vallisneria spiralis*)、黑藻 (*Hydrilla verticillata*)、菹草 (*Potamogeton crispus*)、小茨藻 (*Najas minor*) 等，不喜歡覓食的種類有聚草 (*Myriophyllum spicatum*) 和水花生 (*Atlernanthera philoxeroides*)。但在覓食水生植物缺乏的情況下，不喜歡之植物也將被吃光，甚至覓食昆蟲及幼蟲。草魚的食量大，每天攝

取沉水植物的量甚至超過魚的體重，高的超過體重的 93%。沉水植物的餌料係數因種類不同而有較大差異，其範圍在 50~180。因此，當濕地草魚放養量過大，其覓食強度超過植物再生產能力時，必然導致水生植物的減少，甚至毀滅。特別是植株再生能力不強、地下莖和根系又不發達、種子量不多、且為草魚覓食的植物最易受害。許多濕地由於草食性魚類(特別是草魚)的過度放養而導致水草減少甚至絕種，使浮游藻類在初級生產者中占絕對

優勢。草魚對水草的破壞力高不僅由於草魚對水草的消化吸收率低，而且往往由於一些幼嫩水草被食用，使水草的潛在生產力遭受破壞。對於水草來說，浮游藻類其個體小，生命週期短，缺乏儲存大量營養物質的能力，因此，水草在初級生產者中佔優勢的濕地，大量的營養物質被積存在水草中，從營養上抑制了浮游藻類的生長，使得水質清澈，這常常被稱為水草的“淨化功能”。隨著水草生物量的下降，吸收存積在水草的營養，便通過草魚的攝取及排泄被大量釋放到水中，增加了浮游藻類的繁殖，又由於浮游藻類的現存量增加，降低了濕地水面的透明度和補償深度，而這又將進一步減少水草的生存範圍。如此惡性循環，沉水植物越來越少，

## 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，草魚群為獨立物種，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)草魚群分 $n=4$ 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

甚至完全消失。由於草魚放養量的不合理，草魚攝食量大大超過了大型水生植物的再生產量，致使大型水生植物越來越少，甚至一些種類瀕於絕種。大型水生植物的存在使水體具有較強的自淨能力。當大型水生植物遭到破壞後，湖泊的緩衝能力下降，大型水生植物所固定的氮、磷等營養質重新釋放回水體，濕地的營養化程度加重。

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草魚，同時維持人工濕地環境多樣性。以此建立起人工濕地對草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。

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)草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，定義每條草魚平均產卵量為所有草魚平均值，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  $r(1/\text{年})$ ，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  $\rho$  與存活率  $m$  之間關係為： $R(m, \rho) = 0$ 。

根據假設(5)，草魚在每年的禁補期集中性一次產卵，則年總產卵量  $\rho$  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：

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

其中， $i=s, s+1, \dots, n$ 。

假設草魚於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：

## 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補撈強度係數  $u_i = 2.102(\text{年})$

表1 養殖草魚參數量測量表

項目 齡魚	平均重量 (kg)	自然 死亡率	產卵量 (kg)
1	0.3	0.70	0
2	0.5	0.55	0
3	1	0.45	$1.0 * 10^5$
4	1.2	0.78	$0.5 * 10^5$

可得持續每年最大補撈重量為：

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

$$\frac{d\text{fish1}}{dt} = -0.7 * \text{fish1}, 0 \leq t \leq 1, \text{fish1}(0) = \text{fish10} \dots (4)$$

$$\frac{d\text{fish2}}{dt} = -0.55 * \text{fish2}, 0 \leq t \leq 1, \text{fish2}(0) = \text{fish1}(1) \dots (5)$$

$$\frac{d\text{fish31}}{dt} = -(0.45 + 0.45 * \rho) \text{fish31}, 0 \leq t \leq 2/3, \text{fish31}(0) = \text{fish2}(1) \dots (6)$$

$$\frac{d\text{fish32}}{dt} = -0.45 \text{fish32}, 2/3 \leq t \leq 1, \text{fish32}(2/3) = \text{fish31}(1) \dots (7)$$

$$\frac{d\text{fish41}}{dt} = -(0.78 + \rho) \text{fish41}, 0 \leq t \leq 2/3, \text{fish41}(0) = \text{fish32}(1) \dots (8)$$

$$\frac{d\text{fish42}}{dt} = -0.78 \text{fish42}, 2/3 \leq t \leq 1, \text{fish42}(2/3) = \text{fish41}(1) \dots (9)$$

$\max[\text{totalfish}]$ ：最大補撈量

$u_i$ ：捕撈強度係數

$\rho$ ：年產卵量

$\text{fish10}$ ：1齡魚初始數量； $\text{fish11}$ ：前6個月1齡魚； $\text{fish12}$ ：後6個月1齡魚

$\text{fish20}$ ：2齡魚初始數量； $\text{fish21}$ ：前6個月2齡魚； $\text{fish22}$ ：後6個月2齡魚

$\text{fish30}$ ：3齡魚初始數量； $\text{fish31}$ ：前6個月3齡魚； $\text{fish32}$ ：後6個月3齡魚

$\text{fish40}$ ：4齡魚初始數量； $\text{fish41}$ ：前6個月4齡魚； $\text{fish42}$ ：後6個月4齡魚

得知最大捕撈量模擬經驗式：

$$\max[\text{totalfish}] = 0.79 \int_0^{2/3} (0.5 * 1.8843 * \text{fish31}) dt +$$

$$1.15 \int_0^{2/3} (1.8854 * fish41) dt$$

由圖1所示可得知最大捕撈量為

$$4.55 * e^{10} (1/kg) = 100,220 (kg)。$$

可持續補撈之各齡魚群的初始數量，分別如下：

$$\begin{aligned} 1 \text{ 齡魚數} &= 1.1 * e^{11} = 65,861 \text{ (隻)} ; 2 \text{ 齡魚} \\ &= 2.301 * e^{11} = 137,770 \text{ (隻)} ; 3 \text{ 齡魚數} \\ &= 1.4503 * e^{11} = 86,835 \text{ (隻)} ; 4 \text{ 齡魚數} \\ &= 4.7423 * e^{10} = 104,456 \text{ (隻)}。 \end{aligned}$$

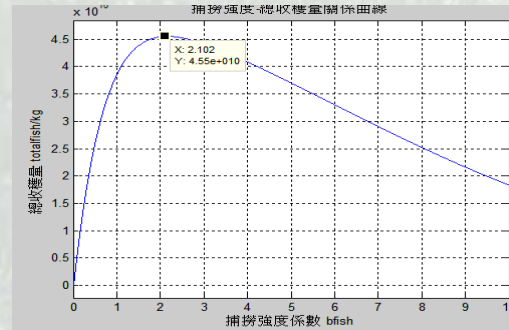


圖1 補撈強度係數和總捕獲量關係曲線

#### 四、結果與建議

##### 1. 本研究草魚(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，使得本研究之物種草魚得以生長、繁殖。如能加以管理及保育，可視

成為一種永續的資源。

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為，最大補撈量為86,420 (kg)。

#### 參考文獻

1. Kapur V, Troy D and Oris J, 1997. A Sustainable Fishing Simulation Using Mathematical Modeling Crossroads.
2. Sparre, Per and Hart, Paul J B, 2002. Handbook of Fish Biology and Fisheries, Chapter 13: Choosing the best model for fisheries assessment. Blackwell Publishing.
3. VENKATESHB, SHETTY HP C, 1978. Studies on the growth rate of the grass carp Ctenopharyngodon idella fed on two aquatic weeds and libitum [J]. Mysore J Agric Sci, 12(4) : 622- 628.
4. KAUFMANL, 1992. Catastrophic change in species-rich freshwater ecosystems : the lessons of Lake Victoria [J]. Bioscience, 42: 846- 858.
5. MIURA T, 1990. The effects of planktivorous fishes on the plankton community in a eutrophic lake [J]. Hydrobiologia, 200/ 201 : 567 - 579.
6. 李傳紅，謝貽發，劉正文，2007，魚類對淺水湖泊生態系統及其富營養化的影響，安徽農業科學學報，36(9)，第3679-3681頁。

收稿：100年5月4日  
修改：100年5月7日  
接受：100年5月11日