

行政院農業委員會林務局補助研究計畫 103 林發-07.1-保-26 (2)

利用生活史資料評估外來動物入侵衝擊之分析與應用  
**Application and Analysis of the Life History Database  
to Assess Invasion Impact of Exotic Animals**



補助機關：行政院農業委員會林務局

執行機關：國立高雄師範大學

研究主持人：梁世雄教授

協同主持人：謝寶森副教授

中華民國 104 年 1 月

## 摘要

本研究以寵物店調查紀錄魚種資料庫為基礎，將外來魚種分為已在台灣建立野外族群（26種）及尚未在野外建立魚種（93種），以探討使外來魚種在台灣野外可成功建立野外族群的關鍵生活史變數。進行分析之魚類資料庫共包含119種，每種有17個變數；利用三種方法建立預測模式：決策樹分析（decision tree）、邏輯迴歸分析（logistic regression analysis）、及類神經網路分析（Autoneural analysis）。為瞭解變數處理是否影響最佳模式的篩選，我們並進行三種不同變數處理策略，在每種變數處理策略下再進行三種預測模式的比較，以驗證錯分率（validation misclassification rate）最小的原則，篩選最佳的預測模式。結果顯示，邏輯迴歸預測模式有最小的錯分率，此模式包含五項變數，在預測入侵結果的重要性依序為：「養殖魚種」、「入侵國家數量」、「體長最大值」、「原始棲地最高氣溫」及「食性」。再者，決策樹預測模式雖然沒有最小的驗證錯分率，但考慮資料的補值及模式推廣應用（簡單明瞭），本研究團隊仍推薦決策樹預測模式在這三種模式建立方法中，為較適宜用於預測外來魚種入侵及其他蒐尋評估生物入侵造成衝擊之關鍵因素等相關研究的新方法。

**關鍵詞：**外來魚種、生活史、入侵衝擊

## Abstract

This objective of this study is to identify the life history factors to determine exotic fishes to successfully establish wild population in Taiwan. We used 17 life history variables and 119 exotic fishes from the pet store survey database, which include 26 species established wild population and 93 species did not reported in the field within the island. Three statistic methods were selected, including decision tree analysis, logistic regression analysis, and autoneural analysis, to develop optimal model in this study. For each statistic method, three analysis strategies, which differed in included variables and variable data category, were performed. Based comparisons of misclassification rate among three statistic methods, the logistic regression analysis constructed the model with the lowest misclassification rate, and identify important life history factors to determine exotic fishes to establish wild population in Taiwan with the following orders of aquaculture species, number of invasion countries, maximum body length, maximum air temperature in original habitat, and diet. Despite did not display the lowest misclassification rate among these three statistic methods, decision tree analysis are recommended as the optimal analysis to develop model for predicting the success of exotic animals to establish wild population and to assess its potential impact because the generated model is easy and clear to understand and operate and the model construction is not affected by missing values and data transformation.

**Keywords:**invasive exotic fish, life history, invasion impact

# 目錄

第一章前言.....	1
第二章計畫目的.....	3
第三章材料與方法.....	4
第四章結果.....	14
第五章討論.....	25
第六章參考文獻.....	29
附錄一.....	30

## 圖目錄

圖一、研究分析之流程圖.....	13
圖二、決策樹分析建構之模式.....	15
圖三、策略 I 之 iteration 圖.....	16
圖四、策略 I 之 ROC 圖.....	17
圖五、策略 II 之 iteration 圖.....	19
圖六、策略 II 之 ROC 圖.....	21
圖七、策略 III 之 iteration 圖.....	23
圖八、策略 III 之 ROC 圖.....	24
圖九、三種預測模式錯分率分析與比較.....	27

## 表目錄

表一、輸入變數說明.....	5
表二、三種模式之 ROC 圖決定最佳模式與驗證錯分率.....	26

# 第一章前言

因為世界貿易與交通日益方便與頻繁，外來生物對於世界生態及人類經濟所造成的威脅也日益加重。外來生物進入新生態系的途徑包含養殖、放生、研究、意外等，雖然許多外來物種在被引入新棲地後，並不易建立持續族群。不過，由於交通途徑增加及野外族群建立與被發現時間有差異等事實，外來生物在引入棲地建立新族群的數字正在逐漸上升。

若是以降低貿易的方式減少外來生物入侵，則對於社會與經濟之衝擊甚鉅。對於國際間寵物買賣及食物輸入等貿易通路的改變，合理的執行方式是避免引入後可能引起負面衝擊的外來生物進入國內棲地。所以，發展可利用生活史資料，以量化預測外來生物入侵本國生態系的可能性，便有必要。

早期生態學家認為外來物種入侵過程非常複雜，所以，對於預測外來物種引入後，可準確預測其負面衝擊的可能性存有疑慮。但是，近來的風險評估過程則已認為應以縮小地理區域和以物種為單位的方式進行，同時，也要將入侵過程分成運輸（transport）、建立新族群（establish population）、及散播和危害（spread and harm）等三步驟分別評估，方能提昇預測結果的準確性。例如 kolar& Lodge（2001）在五大湖利用魚類的 24 個生活史特徵，以將近 90% 成功率預測外來魚

種引入後，將會建立族群及造成負面危害的外來魚種。類似成功案例也紀錄於 Reichard & Hamilton (1997) 預測美國入侵之植物，Veltman *et al.* (1996) 在紐西蘭建立外來入侵鳥類及產生生態系負面影響的高相關性。其他案例還包含加州外來魚類在不同入侵階段造成衝擊之風險評估 (Marchetti *et al.*, 2004)。不過，類似的研究在台灣尚未有執行的前例。

本研究利用生活史特徵預判外來生物進入台灣棲地後，建立野外族群的可能性。第一年將以淡水魚類為對象生物，第二年將以鳥類為對象生物，第三年將評估外來兩棲爬蟲類在台灣建立族群的發生機率及蒐尋決定其成功建立族群之關鍵生活史特徵，執行本計畫除有助於建立臺灣外來種入侵的相關理論基礎外，相關行政單位亦可利用本研究之結果，對於養殖、寵物等外來生物進出口管理及篩選，提供具有學術研究之依據，使台灣的生物多樣性保育能更健全與有效。

## 第二章計畫目的

本年度（103年）研究以寵物店調查紀錄魚種資料庫為基礎，將外來魚種分為已在台灣建立野外族群（26種）及尚未在野外建立魚種（93種），以探討外來魚種在台灣野外可成功建立野外族群的關鍵生活史變數，以供學術及行政單位參考應用。

## 第三章材料與方法

### 一、使用資料及魚種數量

利用 FishBase 及其他網路網站和文獻建立分析資料庫，資料庫內，原包含以梁等（2010）報告紀錄之 121 種寵物外來魚種為基礎，選擇 17 種環境及生活史變數，建立資料庫，以進行分析。但是，其中兩種魚類因相關資料太少，決定捨棄，故本報告分析之外來魚種共 119 種。

資料庫包含之 119 種魚種分屬 10 目（order），18 科（family），以麗魚科（Cichli 利用 FishBase 及其他網路網站和文獻建立分析資料庫，資料庫內（附錄一），原包含以梁等（2010）報告紀錄之 121 種寵物外來魚種為基礎，選擇 17 種環境及生活史變數，建立資料庫，以進行分析。但是，其中兩種魚類因相關資料太少，決定捨棄，故本報告分析之外來魚種共 119 種。其中，共有 26 種（30.3%），在台灣野外有建立族群紀錄，其餘 93 種（69.7%），則未有正式之野外建立族群紀錄。

進行分析之魚類資料庫共包含 17 個變數（表一），其中分類變數 2 個、環境變數 7 個、型態變數 1 個、食性變數 2 個、生殖變數 1 個、引進及入侵國家變數 2 個、人類利用（養殖與寵物）變數 2 個。由於生殖資料不易取得，故僅列 1 項，但是生殖相關變數被認為與引入成

表一、輸入變數說明

變數名	說明	變數類別
Order	目別	Nominal
Family	科別	Nominal
PHL	棲息環境水域酸鹼度最低值	Interval
PHH	棲息環境水域酸鹼度最高值	Interval
DHL	棲息環境水域硬度最低值	Interval
DHH	棲息環境水域硬度最高值	Interval
TEMPL	棲息環境水域溫度最低值	Interval
TEMPH	棲息環境水域溫度最高值	Interval
LOVERLAP	棲息環境緯度與台灣重疊度 (全包含台灣本島範圍=2/部分=1/無=0)	Ordinal
MAXL	體長最大值(以標準體長為主)	Interval
NOINTR	被引入國家數	Interval
NOESTAB	被入侵國家數	Interval
DIET	食性(碎屑腐質 1/草食 2/雜食 3/肉食 4)	Ordinal
NOFITEM	食物種類數	Interval
MAXNOEGG	最大產卵數	Interval
AQUAC	是否有水產養殖(無=1/有=2)	Ordinal
PET	是否有被當寵物(無=1/有=2)	Ordinal

功率有高相關 (Keller *et al.*, 2007)，未來分析，如有生殖資料，建議應多列變數，進行分析。

## 二、分析方法介紹

分析先以 SAS Enterprise Guide 5.1 進行資料整理與轉檔，再利用 SAS Enterprise Miner12.1 進行預測模式分析。

利用三種分析方法建立預測模式：決策樹分析 (decision tree)、邏輯迴歸分析 (logistic regression analysis) 及類神經網路分析 (Autoneural analysis)。以這三種分析方法建立預測模式各有其優缺點 (如下表)，尤其是在資料收集上決策樹分析較占優勢，因為其不須因為遺失值而需做補值或刪除資料等處理。

方法	分析優點及缺點
決策樹分析	遺失值及數值轉換不影響分析結果，不須補值(inpute)
邏輯迴歸分析	遺失值須刪除，將影響樣本數數量
類神經網路	遺失值須刪除，將影響樣本數數量，無法包含太多類別變數

### 1. 決策樹分析 (Decision tree analysis)

分類及決策樹分析 (Decision tree)，也稱為分類及迴歸樹分析 (classification & regression tree)，此分析利用一個或多個解釋變數

(explanatory variables) 解釋單一反應變數 (response variable) 的變異。反應變數可以是項目變數 (categorical) 或數量變數 (numeric)，解釋變數也可以包含項目或數量變數。本研究的反應變數為入侵與否，是項目變數;解釋的變數共有 17 個，分屬項目或數量變數(表一)。

決策樹分析利用重覆將單一解釋變數分離為完全相異兩部分的方法完成分析，被分離之單一解釋變數兩組相異群組內的資料被歸類為具有相似性質的資料。將資料分離為兩群組的過程重覆進行，希望能依據解釋變數數量將反應變數變異來源予以分析。最後，將會所有解釋變數分隔成兩組的各種組合結果中，選擇能夠將各組內資料同質性最大化的計算，作為最佳的呈現。

如果是項目型解釋變數所建立的決策樹分析結果，在每次分離，僅能決定一組結果，然後再依次分組，若分離 K 層，則其分離組數將為  $2^{K-1}-1$  組，若解釋變數數質類型為數量，則每次分離依據為小於及大於某數質，所以有 n 個解釋變數時，則有 n-1 次的分離。

決策樹分析的結果是呈現類似根系在上方的樹狀圖形，利用上方根結點 (root node) 表示尚未分離資料，再藉由根結點向外延伸拓展，建立分枝 (branching)，至無法分枝後的點，則稱為葉 (leaf)。

## 2. 邏輯迴歸分析 (Logistic regression analysis)

邏輯迴歸分析乃是為解決應變數 (dependent variable) 分布非屬

於常態分布，所發展的分析方法。計算方式為透過非線性函數去估算感興趣的參數值，計算使用 logit 函數，估算參數值介於 0 與 1 之間，這函數與 probit model 相似，但是 probit model 使用常態分布的累積函數。

如果用  $\pi(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)}$

當  $x = -\infty$  (負無限大值)， $\Pi(-\infty) = 0$

$x = 0$  時， $\Pi(0) = 0.5$

$x = \infty$  (無限大值)， $\Pi(\infty) = 1$

邏輯迴歸分析所利用之數學原理，並非是最小平方和 (least square)，而是利用最大可能性 (maximum likelihood)，即所預測產生的數值分別符合使用資料的整體可能性達到最大。達成方式為利用電腦一再嘗試重複計算 (iteration)，直到所找到的參數值達到最大可能性。所以 logit 函數可將如二次函數的原始資料轉換成不同區段或分隔 (如年齡) 的興趣變數之發生機率。

對二次函數的資料，logit model 在醫學，流行病學被應用的很廣泛，因為 logit 邏輯迴歸分析所利用之數學原理，並非是最小平方和 (least square)，而是利用最大可能性 (maximum likelihood)，即所預測產生的數值分別符合使用資料的整體可能性達到最大。達成方式為

利用電腦一再嘗試重複計算 (iteration)，直到所找到的參數值達到最大可能性。所以 logit 函數可將如二次函數的原始資料轉換成不同區段或分隔 (如年齡) 的興趣變數之發生機率。

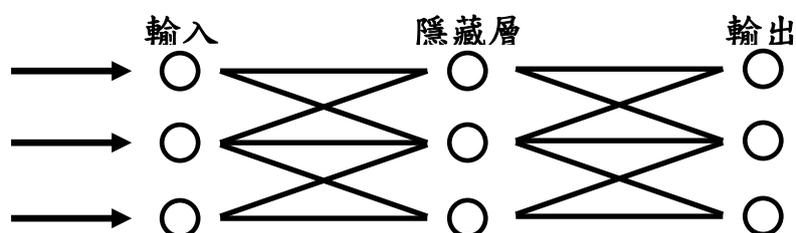
對二次函數的資料, logit model 在醫學及流行病學被應用的很廣泛, 因為 logit model 計算得到的自變數係數透過簡單換算, 就可得到在生物醫學常用的指標值-勝算比例 (odds ratio)。若在 logit model 使用的自變數也是二次變數, 更能凸顯結果解讀的方便。

### 3. 類神經網路分析 (Artificial neural network)

類神經網路分析因模擬人類神經模型得名, 使用許多相連的神經元模仿生物神經網路, 透過人工神經元從外界環境或其他來源 (神經元) 取得需要資訊, 經過運算, 將結果轉換成 0 - 1 的值輸出到外界環境或其他神經元, 使資訊可進階作用。因為可解決非線性複雜模型的建構、沒有太多模型假設限制、及產生具有良好預測能力之模式, 類神經網路分析被大量應用在各種產業。

類神經網路分析之計算方式為在解釋變數(輸入)與預測變數(輸出)間利用隱藏層建立資訊間的關係 (如下圖), 隱藏層內將輸入變數藉由活化函數轉換, 產生對應輸出值; 輸出值再輸入直至越過某臨界值前會維持低數值, 但若輸入值達到臨界值後, 神經單元就會被活化而產生高數值。類神經網路能正確運作, 必須透過訓練 (training),

使類神經反覆學習，修正模型權重直至每個輸入都能正確應對到所需輸出。



類神經網路分析也有缺點，分述如下：

### (1) 不易解釋

對於隱藏層複雜的活化函數轉換過程，無法直接說明輸入資訊與輸入預測值之間的關係，如可以列出購買力強的客戶名單，但不知客戶的購買力原因為何。

### (2) 沒有變數選擇能力

只要投入模型之變數，此計算均會將其帶入模型，進行各項權數計算與決定過程。因此，也可能產生過度配適的模型結果。

### (3) 須進行遺失值 (missing value) 處理

類神經網路分析近似迴歸分析。所以，在進行許多分析前，必須對遺失數值進行處理，否則計算時，將會自動忽略具有遺失值的觀測資料，減少樣本數量。

### 三、分析策略及使用變數

本研究為探討變數的處理是否會影響預測模式，所以收集的魚類資料，將先使用三種不同變數處理策略，調整變數之數量及資料分類方式，分述如下：

**策略 I (Strategy I)：**包含所有 17 個變數。

**策略 II (Strategy II)：**不包含分類變數（移除目別及科別變數），

只使用策略 II (Strategy II)：不包含分類變數（移除目別及科別變數），只使用 15 個變數。

**策略 III (Strategy III)：**不包含分類變數（移除目別及科別變數），

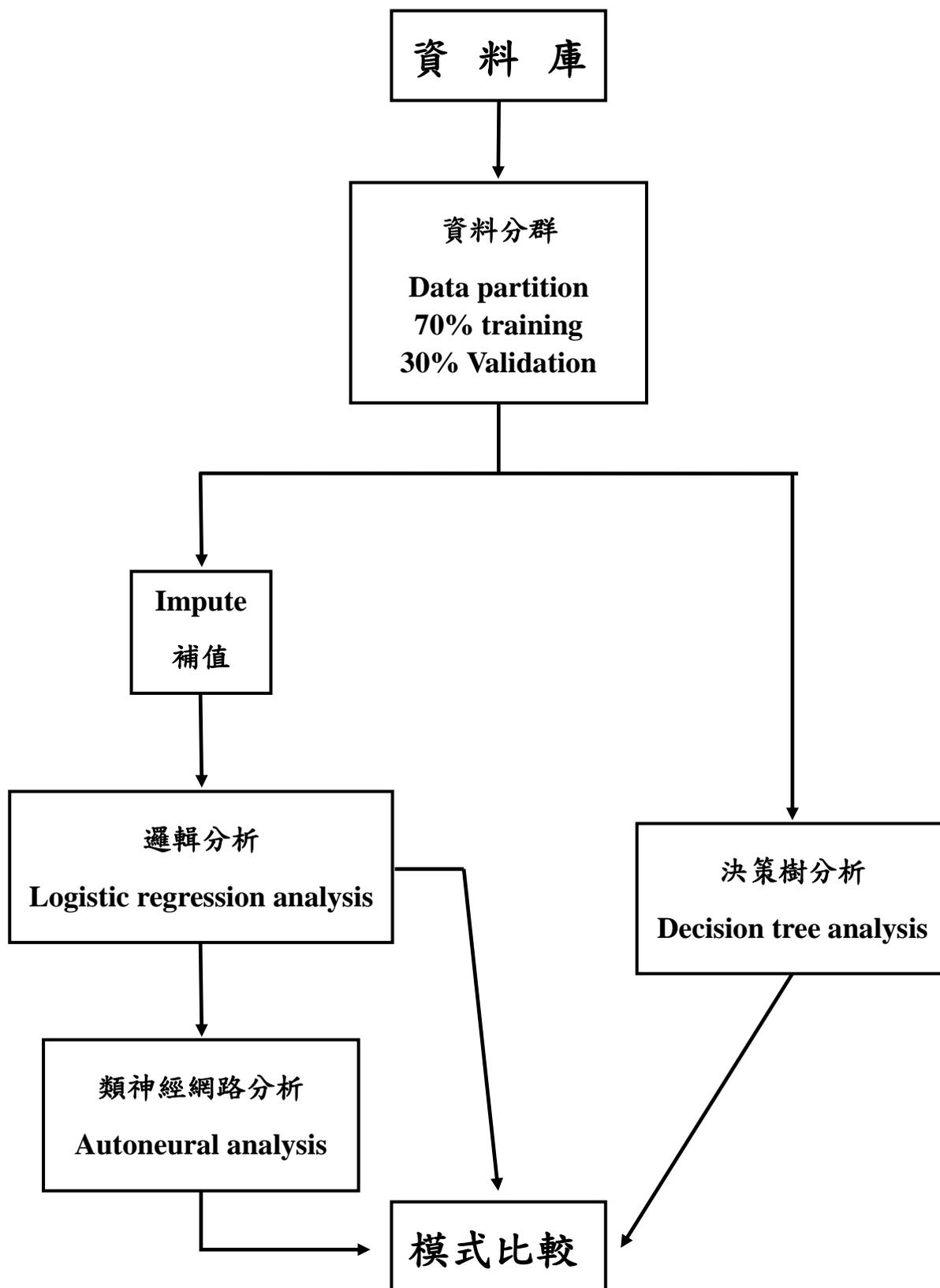
且將所有類別變數調整為二項式（只有二個類型）的變數內容，如食性只分肉食與其他食性兩項，與台灣緯度重疊狀況分為有重疊及無重疊兩項。

每個變數處理策略，均以相同流程進行三個方法的預測模式建立並進行模式比較（圖一）。由於決策樹分析結果不受遺失數值及資料轉換之影響，所以在三種變數處理策略下，決策樹分析預測模式均呈現相同結果，而邏輯分析和類神經網路分析之分析結果在不同變數處理策略時，會產生不同的結果模式。在進行模式建立時，邏輯分析會先篩選對於反應變數具有解釋能力之變數，以建立 logit 模式，類神經網路分析則利用邏輯分析所篩選之變數，建構類神經分析模式，即

先進行邏輯分析，再依據邏輯分析之結果，提供篩選變數，使類神經網路分析得以執行。

預測模式的建立與模式分析，將會將資料先分為模式訓練資料庫 (training) 及驗證資料庫 (validation)，前者目的為反覆練習與計算，以建立分析模式，後者目的則是驗證分析模式之預測能力的準確性，本研究的資料配適，訓練與驗證資料比是 70% 比 30%。

三種變數處理策略下各以三種方法 (決策樹、邏輯迴歸、類神經網路) 進行模式建立，每個變數處理策略下在模式比較時採用驗證錯分率最小 (Validation misclassification rate) 原則做為最佳預測模式的篩選。



圖一、研究分析之流程圖

## 第四章、結果

### 一、策略 I

策略 I 為利用所有 17 個變數，進行決策樹分析，邏輯迴歸分析及類神經網路分析進行預測模式建立。

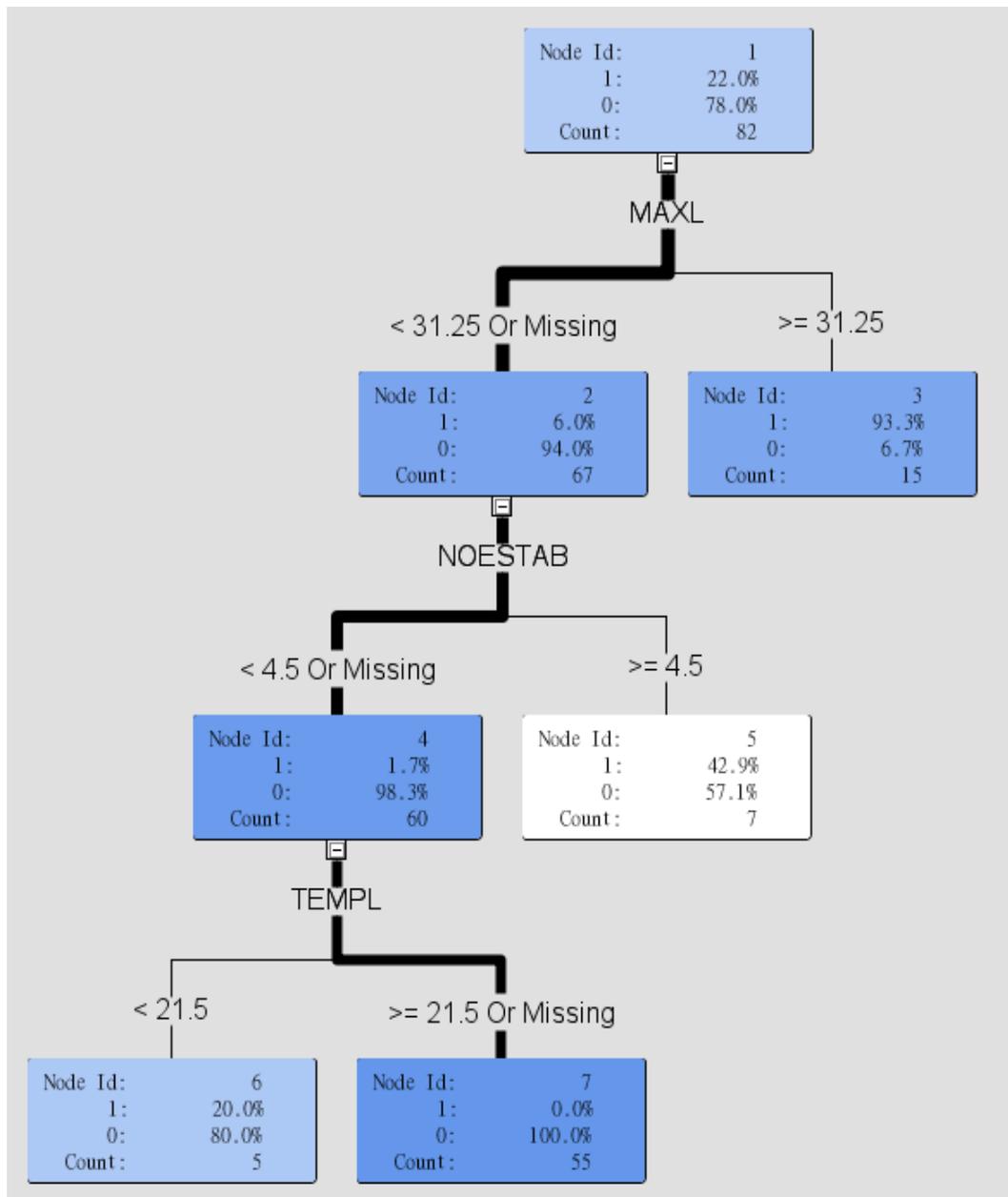
以決策樹建立的預測模式中，最大體長大於 31.3 cm 以上的魚種引入台灣後，有 93.3% 以上的機率可在野外成功建立族群，是最關鍵的決定因子（圖二）。

利用選擇前向（forward）加入變數方法執行邏輯迴歸分析，依據 iteration lot 顯，僅需單一變數即能達最小的錯分率，即在邏輯迴歸的預模式只要一變數（是否有進行養殖），就能預測其是否能在台灣建野外族群（圖三）。

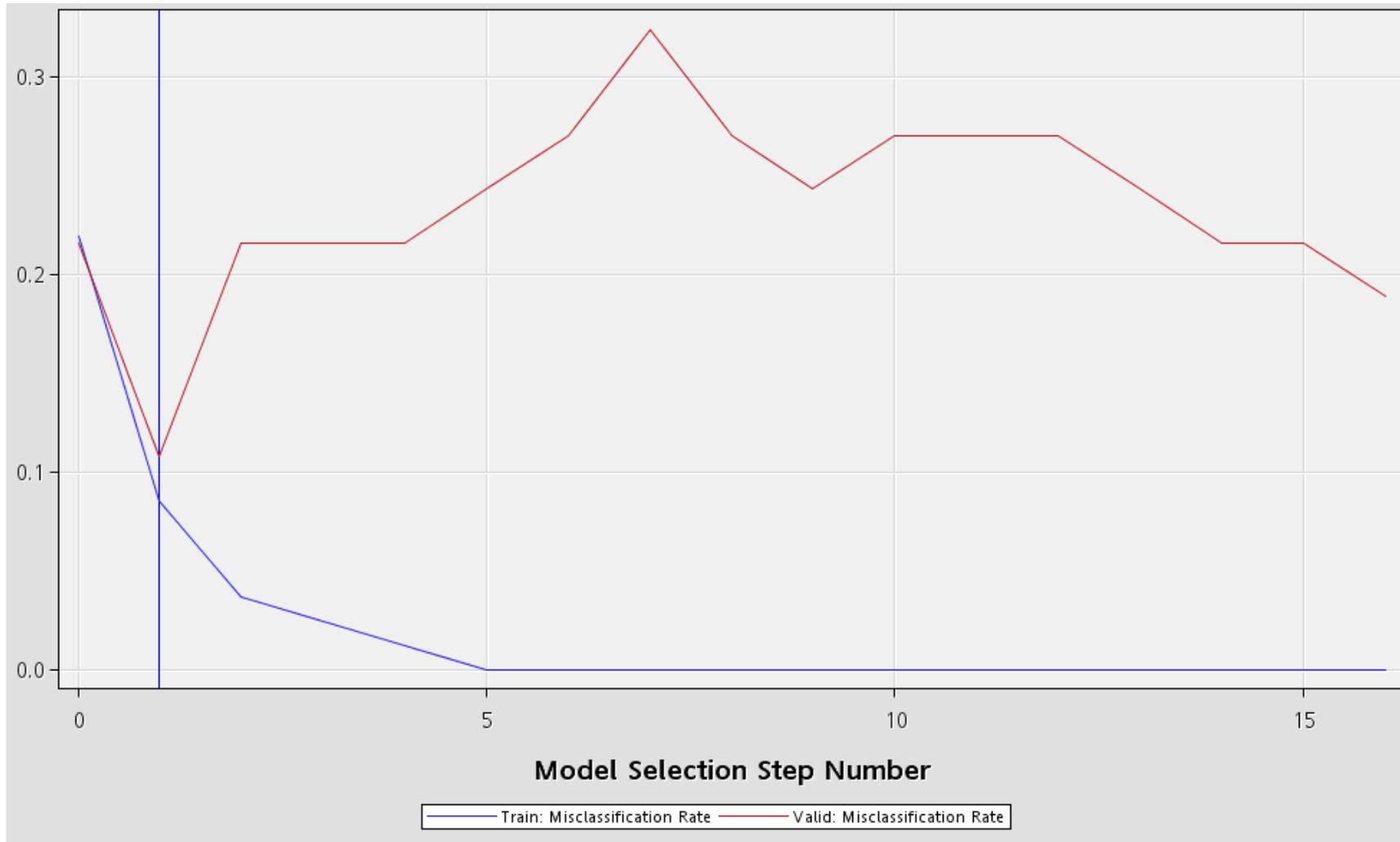
類神經網路分析顯示與邏輯迴歸相似的結果，引入養殖的外來魚種為具有最高可能性在台灣野外成功建立族群的魚類。

在三種分析方法的比較，依據 ROC 圖（receiver operating characteristics, 呈現篩檢試驗敏感度 sensitivity 及 1-特異度 specificity 關係）曲線顯示（曲線下方面積愈大，顯示模式愈佳）（圖四），以決策樹建立的預測模式最佳。

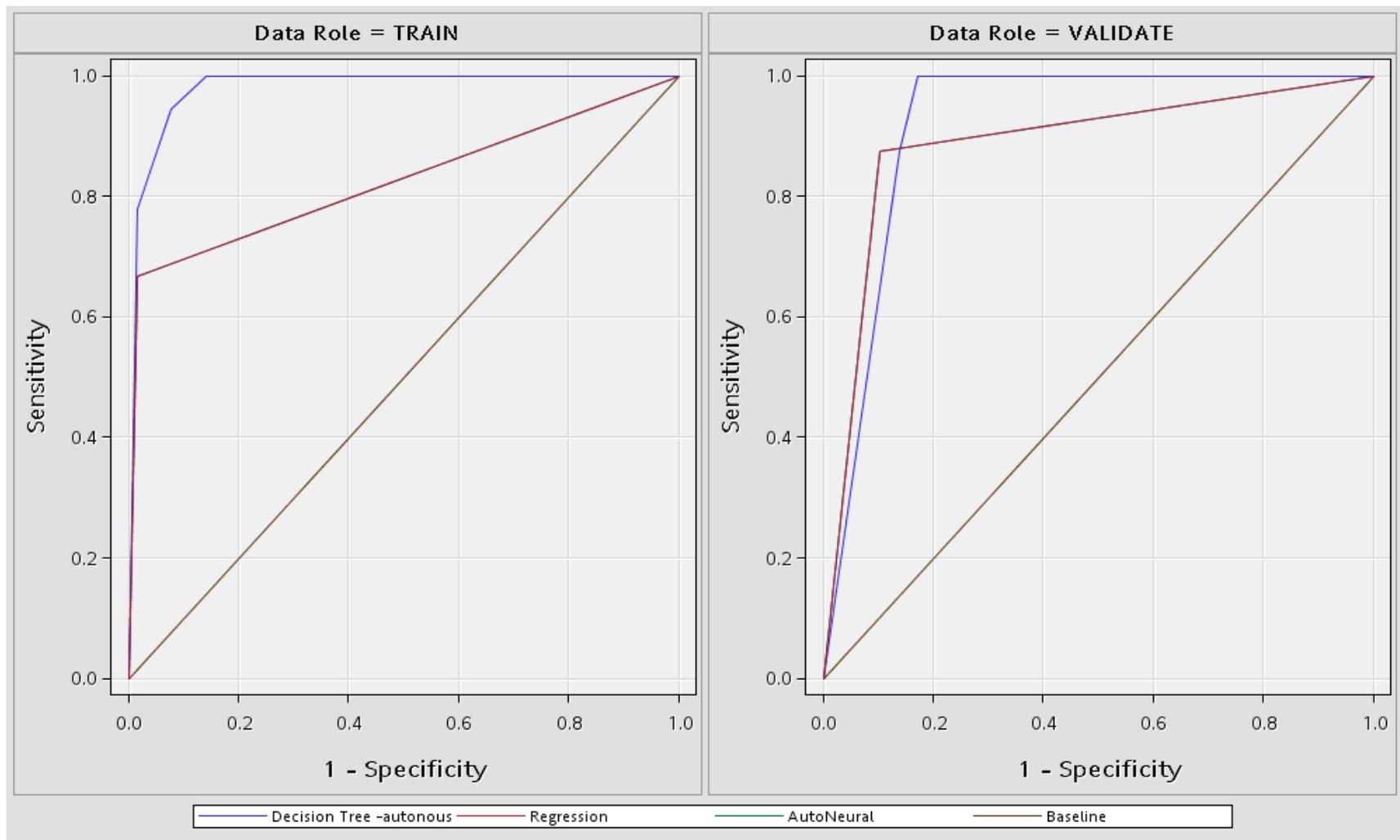
在驗證階段（Validation data）時，三種分析方法產生之模式的錯分率大致相近（決策樹分析：0.135，邏輯迴歸分析：0.108，類神經



圖二、決策樹分析建構之模式



圖三、策略 I 之 iteration 圖，圖中直線標示需要之變數數量以達最低驗證錯分率（紅線所標示）。



圖四、策略 I 之 ROC 圖，不同分析方法在圖中涵蓋面積越大，顯示建構模式有最佳敏感度（sensitivity）與 1-特異性

(specificity)。藍線為決策樹模式；紅線為邏輯迴規模式；綠線為類神經網路模式。左圖是依據訓練資料；右圖是依據驗證資料。

網路分析：0.108)，所以，在本階段之分析結果比較，以邏輯迴歸分析分析建立的模式在預測外來魚種入侵成功的能力，較決策樹方法為佳。

不過，由於本分析策略包含所有 17 項變數，其中分類變數（目及科）可能因變相太多影響模式建立，因此，將該二變數移除後，進行策略 II 及 III 之分析。

## 二、策略 II

### 1. 決策樹分析

由於決策樹分析並不受資料轉換及遺失資料之影響，故雖然本次分析將 2 個分類變數（目別及科別）移除，但是並不會改變決策樹分析的結果（圖二），即策略 II 分析結果與策略 I 之分析結果完全相同，也呈現可以體型判斷外來魚種可在野外成功建立族群之依據，外來魚種最大體長若大於 31.3 cm，即越有可能於台灣野外成功建立族群。

### 2. 邏輯分析

依據 iteration plot 顯示，以三個變數就可達最低錯分率（圖五），此三個依次加入的變數，為「養殖魚種」、「已入侵國數量」「最大個體長」，即屬於養殖魚種、已入侵國家愈多，且最體長最，愈容易在台灣野外建立族群。



圖五、策略 II 之 iteration 圖，圖中直線標示需要之變數達最低驗證錯分率（紅線所標示）。

### 3. 類神經網路分析

類神經網路分析依據邏輯分析所選擇之三個變數，進行建立模式，再以 misclassification rate 與其他分析建立之模式比較預測結果之優劣。

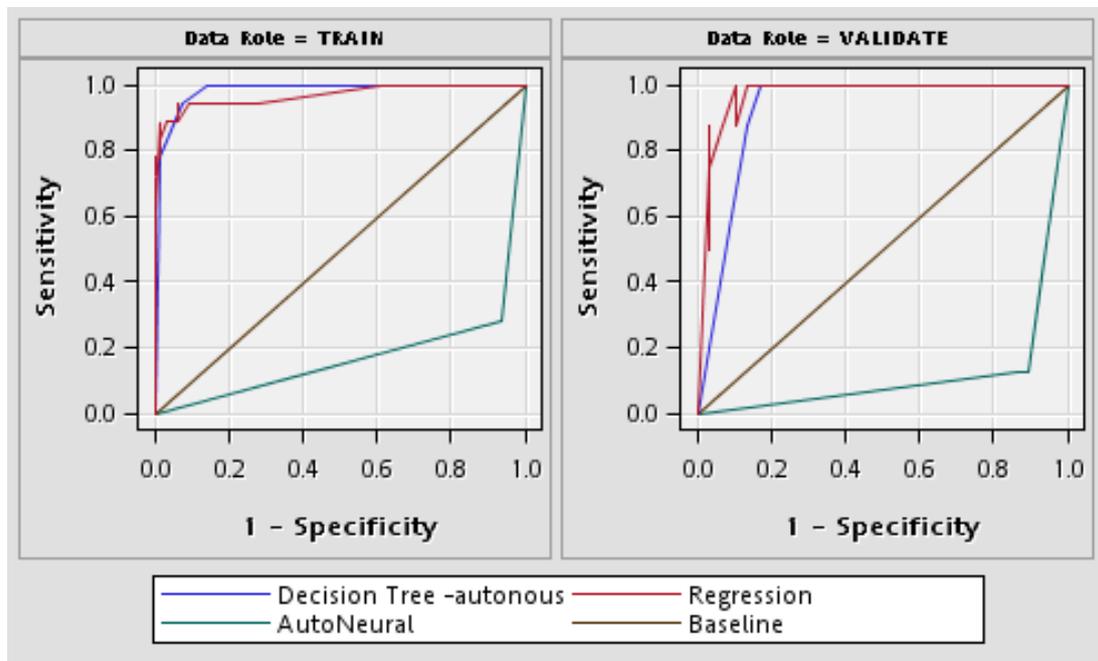
最後模式比較結果，依據 ROC (receiver operating characteristics, 呈現篩檢試驗敏感度 sensitivity 及 1-特異度 specificity 關係) 曲線顯示 (曲線下方面積愈大，顯示模式愈佳) 以邏輯迴歸分析的模式所涵蓋面積最多 (圖六)，同時，邏輯迴歸分析之錯誤預測率 (0.08) 也比決策樹分析 (0.135) 及類神經網路分析 (0.89) 低。所以，就策略 II 而言，以邏輯分析建立的入侵能力預測模式的預測外來魚種入侵的正確率，在三種模式內最佳。

在策略二分析時發現，變數之「食性」及「與台灣緯度重疊程度」二項變數的分類多於二類，所以把「食性」分為「掠食性」及「其他」二類及將「與台灣緯度重疊程度」分為「有重疊」與「無重疊」兩類，進行策略 III 之分析。

## 三、策略 III

### 1. 決策樹分析

策略 III 分析將食性改變為「掠食性」及「其他」兩類與將「台灣緯重疊」更動為「有重疊」與「無重疊」兩類後，因為決策樹分析



圖六、策略 II 之 ROC 圖，不同分析方法在圖中涵蓋面積越大，顯示建構模式有最佳敏感度 (sensitivity) 與 1-特異性 (specificity)。藍線為決策樹模式；紅線為邏輯迴歸模式；綠線為類神經網路模式。左圖是依據訓練資料；右圖是依據驗證資料。

結果會隨遺失數據及數據轉變而產生變化，所以，策略 II 之決策樹分析結果仍和策略 I 與策略 II 之分析結果相同。

## 2. 邏輯分析

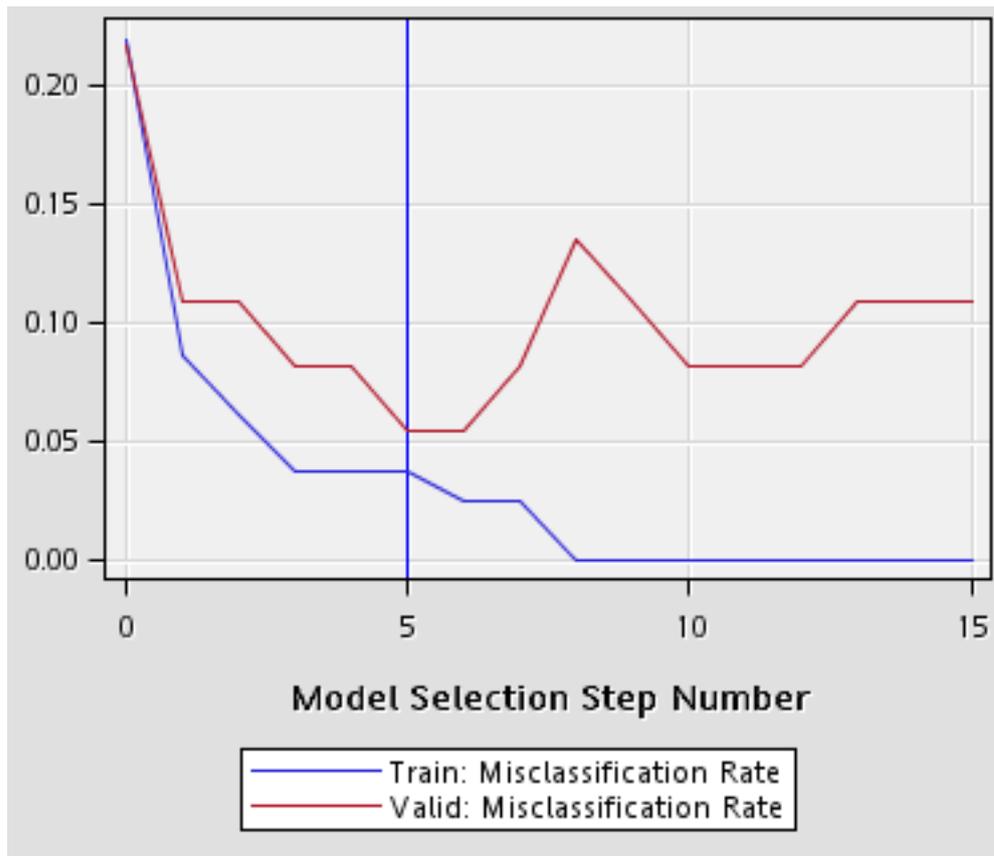
依據 iteration 圖形顯示，本分析結果應計數前五變數依次加入(圖七)，依序分別是「養殖」、「入侵國家數量」、「最大體長」、「最高原始棲地溫度」及「食性」等五項變數，這五項變數有助於判斷外來魚種進入台灣水域後在野外建立族群的可能。

## 3. 類神經網路分析

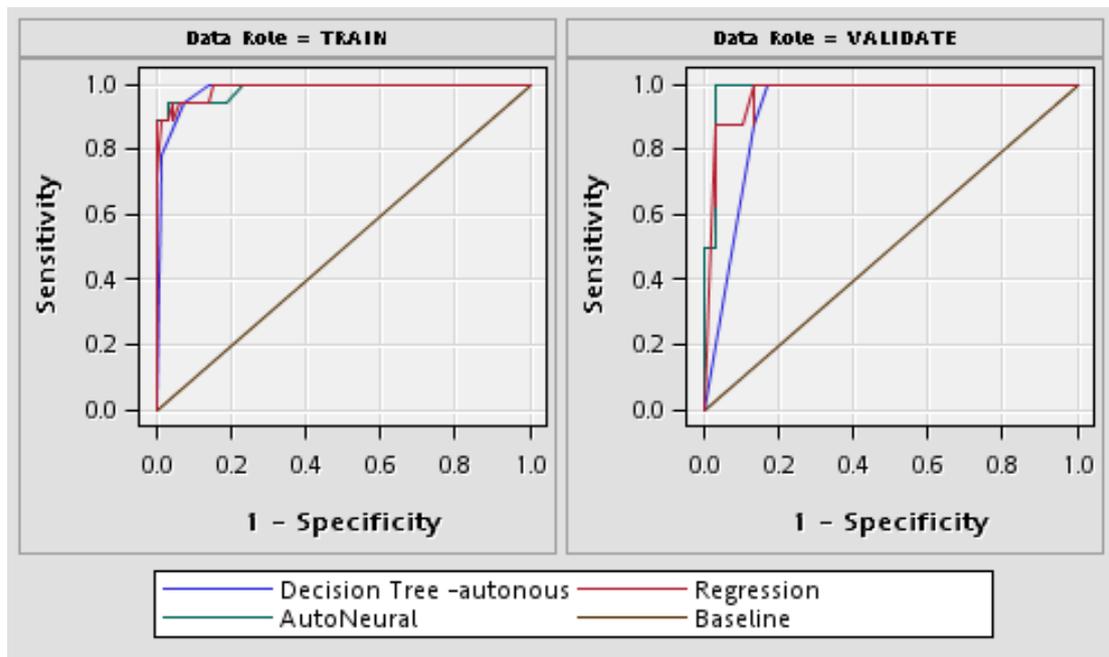
本次分析以邏輯分析所篩選的五項變數進行模式建立，與其他二法所建立模式比較將依據能正確分類入侵與未入侵之魚種比率決定。

## 四、模式比較

依據 ROC (receiver operating characteristics, 呈現篩檢試驗敏感度 sensitivity 及 1-特異度 specificity 關係圖) 曲線顯示 (曲線下方面積愈大, 顯示模式愈佳) (圖八), 在驗證階段, 以類神經網路分析模式最佳。在驗證錯分率的比較上, 則以決策樹分析之模式較高 (0.135), 邏輯分析與類神經網路分析之結果則相同 (0.054)。



圖七、策略 III 之 iteration 圖，圖中直線標示需要之變數達最低驗證錯分率（紅線所標示）。



圖八、策略 III 之 ROC 圖，不同分析方法在圖中涵蓋面積越大，顯示建構模式有最佳敏感度（sensitivity）與 1-特異性（specificity）。藍線為決策樹模式；紅線為邏輯迴規模式；綠線為類神經網路模式。左圖是依據訓練資料；右圖是依據驗證資料。

## 第五章、討論

### 一、模式選擇

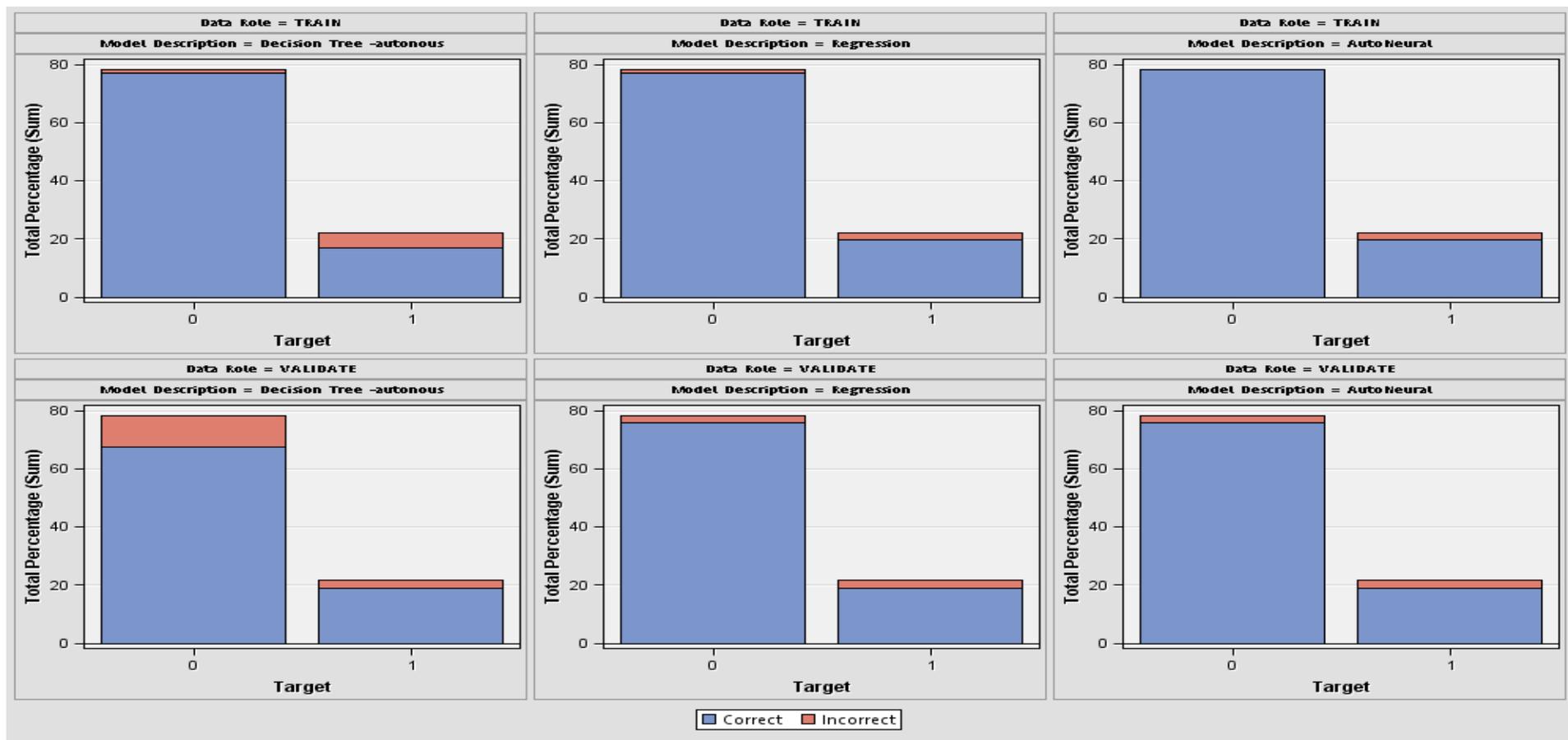
由於決策樹分析不受遺失數據及資料格式轉變而影響分析結果，因此，具有不需補值 (Input) 的優點，若分析欲包含分類變數 (如科別、目別等) 且變數不予調整之狀態時，建議採用決策樹分析進行預測模式之建立。

對於修改變數格式 (如減少變數區隔類別，如多種食性調整為掠食性及其他) 的增減調整變數可以使邏輯迴歸分析之錯誤預測率下降，有助於提昇模式預測的準確能力，所以，若以邏輯分析進行模式建立，可採取移除變數及更動變數內分類區隔項目的方式，提高模式的預測能力，但是，應移除之變數及變數類別調整方式，則需使用人累積分析經驗及強化學識能力，才能決定較適宜的變動。

雖然在策略 III 時，決策樹分析的錯分率為 0.135 高於邏輯分析的 0.05 (表二)，但因錯分率數值為「將入侵魚種列入未入侵魚種」及「將未入侵魚種列入已入侵」兩種錯分率的總和，由驗證階段 (Validation) 的圖形可發現，決策樹分析在將「已入侵魚種列入未入侵」之錯分率與邏輯迴歸分析和類神經網路分析是極相近的，主要差異在於決策樹分析會產生較高的錯誤在將「未入侵魚種列入已入侵魚種」的預測 (圖九)。所以以預測錯誤的現實嚴重性而言，「已入侵魚

表二、三種預測模式之 ROC 圖、驗證錯分率之比較與分類圖決定之最佳模式。

	Validate ROC 圖 決定最佳模式	驗證錯分率			分類圖
		決策樹	邏輯分析	類神經分析	
模式 I	決策樹分析	0.135	0.08	0.108	類神經分析
模式 II	邏輯分析	0.135	0.08	0.05	邏輯分析
模式 III	類神經分析	0.135	0.05	0.89	類神經網路分析



圖九、三種預測模式錯分率分析與比較。藍色部分表示該模式預測正確，紅色部分表示該模式預測錯誤。Target =0 為在臺灣野外不建立族群，Target =1 為在臺灣野外建立族群。最左圖為決策樹預測模式。中間圖為邏輯回歸預測模式。最右圖為類神經預測模式。上方為依據訓練資料。下方為依據驗證資料。

種列入未入侵」是嚴重於「未入侵魚種列入已入侵魚種」，所以若以此考量，決策樹分析在較嚴重的錯分率是與邏輯迴歸相近。因此，如由此觀點考慮，再加入決策樹分析不易受到資料不足或遺失和資料轉換而影響分析結果的事實，三種方法之比較結果，本研究團隊仍推薦決策樹分析，為較適宜進行決定入侵生物入侵可能性及其他蒐尋評估生物入侵造成衝擊之關鍵因素等相關研究的新方法。

## 二、決定外來魚種入侵關鍵因子

決策樹分析在三種分析策略均顯示魚種的最大體長(<31.3 cm 及 >31.3 cm)，若大於 31.3 cm 可作為較有可能入侵台灣的預測變數，不過，在不易入侵台灣外來魚種的判斷因素，除最大體長小於 31.3 cm 外，尚有入侵國家少於 4.5 個及原始棲地最低溫高於 21.5 °C 等判斷條件。

經過移除變數及調整變數分類區隔項目後，邏輯迴歸分析之錯分率有明顯下降(至 0.054)，同時，利用五項變數可提高模式預測能力，這五項變數包含「養殖魚種」、「入侵國家數量」、「體長最大值」、「原始棲地最高氣溫」及「食性」等，此分析結果可提供未來有志於探討外來魚種入侵台灣可能性時，進行模式建立及資料分析時，變數篩選與決定之重要關鍵。

## 參考文獻

梁世雄、陳俊宏、侯平君、謝寶森、杜銘章，2010，外來入侵動物物種資料收集及管理工具之建立，行政院農委會林務局。

Keller, R. P., J. M. Drake, and D. M. Lodge. 2007. Fecundity as a basis for risk assessment of nonindigenous freshwater mollusks. *Conservation Biology* 21(1): 191-200.

Kolar, C. S., and D. M. Lodge. 2001. Progress in invasion biology: predicting invaders. *Trends in Ecology and Evolution* 16:199 – 204.

Reichard, S. H., and C. W. Hamilton. 1997. Predicting invasions of woody plants introduced into North America. *Conservation Biology* 11:193-203.

Veltman, C. J., S. Nee, and M. J. Crawley. 1996. Correlates of introduction success in exotic New Zealand birds. *The American Naturalist* 147: 542-557.

Marchetti, M. P., P. B. Moyle, and R. Levine. 2004. Invasive species profiling? Exploring the characteristics of non-native fishes across invasion stages in California. *Freshwater Biology* 49: 646-661.

附錄一、原始分析魚種之科名、中文俗名、學名、野外族群現況 (0: 未建立, 1: 已建立)

family	中文俗名	學名	野外族群現況
Acipenseridae	中華鱘	Acipensersinensis	0
Ambassidae	玻璃魚、印度玻璃魚	Parambassisranga	1
Anabantidae	梅花	Ctenopomaacutirostre	0
Anguillidae	黑鰻(澳洲鰻鱺)、短鰻	Anguilla australis	1
Anguillidae	花鰻(寬鰻鱺)、長鰻、雷氏鰻	Anguilla reinhardtii	1
Arapaimidae	象魚	Arapaima gigas	1
Centrarchidae	美洲大嘴鱸	Micropterussalmoides	1
Channidae	魚虎(小盾體)、紅鱧	Channamicropeltes	1
Channidae	泰國鱧	Channastrata	1
Characidae	噴火燈	Hyphessobryconamandae	0
Characidae	紅十字燈	Hyphessobryconanisitsi	0
Characidae	玫瑰旗	Hyphessobryconbentosi	0
Characidae	紅旗、大帆紅旗	Hyphessobryconcallistus / Hyphessobrycon eques	0
Characidae	紅尾夢幻旗	Hyphessobryconecuasoriensis / Hyphessobryconcolombianus	0
Characidae	紅印	Hyphessobryconerythrostroma	0
Characidae	火焰燈	Hyphessobryconflammeus	0
Characidae	檸檬燈	Hyphessobryconpulchripinnis	0
Characidae	黑線燈	Hyphessobryconscholzei	0
Characidae	黑燈	Hyphessobryconvilmae	0
Characidae	藍國王燈	Inpaichthyskerri	0
Characidae	黑旗	Megalampodusmegalopterus	0
Characidae	紅衣夢幻旗	Megalampodussweglesi	0
Characidae	日光燈	ParacheirodonInnesi	0
Cichlidae	藍色紅兩點短鯛	Apistogrammahoignei	0
Cichlidae	紅尾皇冠	Aequidensrivulatus	0
Cichlidae	珍珠虎；黑珍珠虎；紅翅珍珠虎、黃金珍珠虎；藍色珍珠虎；薩伊黑珍珠虎	Altolamprologuscompressiceps	0
Cichlidae	九間波羅	Amatitlanianigrofasciata	0
Cichlidae	阿卡西七彩短鯛；衣夢幻；泰菲；瑪妮可紅尾；血焰；帕拉卡莉阿蓮卡；紅翅阿卡西；阿蓮卡；七彩短鯛	Apistogrammaagassizii	0

附錄一、(續)

Cichlidae	酋長短鯛(帕斯塔茲酋長)	Apistogrammabitaeniata	0
Cichlidae	黃金短鯛；歐寶黃金短鯛	Apistogrammaborelli	0
Cichlidae	鳳尾短鯛；德系血紅鳳尾	Apistogrammacacatuoides	0
Cichlidae	鷹嘴短鯛；紅鷹；紅尾鷹嘴短鯛	Apistogrammaeunotus	0
Cichlidae	女王短鯛；超紅女王II型	Apistogrammahongsloi	0
Cichlidae	印第安短鯛	Apistogrammainiridae	0
Cichlidae	熊貓短鯛	Apistogrammanijsseni	0
Cichlidae	帝王短鯛	Apistogrammanorberti	0
Cichlidae	紅線西施短鯛	Apistogrammapertensis	0
Cichlidae	藍三線短鯛	Apistogrammatrifasciata	0
Cichlidae	維吉塔短鯛	Apistogrammaviejita	0
Cichlidae	T字短鯛	Apistogrammoidespuccallpaensis	0
Cichlidae	藍眼皇后	Archocentruspilurus / Cryptoherospilurus	0
Cichlidae	亞馬遜花豬、火焰豬、紅花豬、紅豬、黑花豬、白花豬	Astronotusocellatus	0
Cichlidae	皇帝	Aulonocarabaenschi	0
Cichlidae	帝王艷紅	Aulonocarajacobfreibergi	0
Cichlidae	白金天使；皇冠藍天使	Aulonocarastuartgranti	0
Cichlidae	紫紅火口	Cichlasomabifasciatum / Paraneetroplusbifasciatus	0
Cichlidae	七彩波羅	Cichlasomasalvini	0
Cichlidae	阿里紅；血豔紅	Copadichromisborleyi	0
Cichlidae	藍波	Cyathopharynxfurcifer	0
Cichlidae	閃電王子	Cynotilapiaafra	0
Cichlidae	皇冠六間、薩伊藍六間、尚比亞型藍六間、浦隆地型藍六間	Cyphotilapiafrontosa	0
Cichlidae	黃尾藍劍鯊、藍劍鯊	Cyprichromisleptosoma	0
Cichlidae	黃尾藍劍鯊；藍劍沙	Cyprichromisleptosoma	0
Cichlidae	馬面	Cyrtocaracompressiceps / Dimidiochromiscompressiceps	0
Cichlidae	藍摩利、藍茉莉	Cyrtocaramoorii	0
Cichlidae	皇冠棋盤短鯛	Dicrossusfilamentosus	0
Cichlidae	棋盤短鯛	Dicrossusmaculatus	0
Cichlidae	雪花豹	Fossorochromisrostratus	0
Cichlidae	紅珍珠關刀	Geophagusurinamensis	0
Cichlidae	和尚	Gymnogeophagusbalzanii	0

附錄一、(續)

Cichlidae	紅寶石	Hemichromiscristatus / Hemichromisbimaculatus	0
Cichlidae	金波羅、黑波羅	Herosseverus	0
Cichlidae	獅王	Hypselecara temporalis	0
Cichlidae	紫衫鳳凰短鯛	Julidochromisdickfeldi	0
Cichlidae	藍小丑	Labeotropbeusfuelleborni	0
Cichlidae	非洲王子	Labidochromiscaeruleus	0
Cichlidae	非洲鳳凰	Melanochromisauratus	0
Cichlidae	畫眉	Mesonautafestiva / Mesonautafestivus	0
Cichlidae	金眼短鯛	Nannacaraanomala	0
Cichlidae	藍肚鳳凰短鯛	Nanochromisparilus	0
Cichlidae	燕尾；女王燕尾	Neolamprologusbrichardi	0
Cichlidae	黃帆天堂鳥	Neolamprologuscaudopunctatus	0
Cichlidae	九間天堂鳥	Neolamprologusfasiantus / Neolamprologusfasciatus	0
Cichlidae	黃天堂鳥	Neolamprologusleleupi	0
Cichlidae	維納斯	Nimbochromisvenustus	0
Cichlidae	藍帝提燈	Ophthalmotilapiaventralis	0
Cichlidae	吳郭魚	Oreochromismossambicus	1
Cichlidae	紫紅六間	Papiliochromismilomo	0
Cichlidae	荷蘭鳳凰短鯛	Papiliochromisramirezi	0
Cichlidae	紅肚鳳凰短鯛	Pelvicachromispulcher	0
Cichlidae	閃電戰神	Pseudotropheuselongatus	0
Cichlidae	白馬王子；血中紅；黃金閃電	Pseudotropheus zebra	0
Cichlidae	埃及神仙；亞種埃及神仙	Pterophyllumaltum	0
Cichlidae	神仙魚、大理石神仙、三色神仙、班馬神仙	Pterophyllumscalare	0
Cichlidae	野生綠七彩神仙、野生藍七彩神仙、黃金豹紋七彩、棕七彩神仙	Symphysodonaequifasciatus	0
Cichlidae	紅肚火口	Thorichthysmeeki	0
Cichlidae	吉利慈鯛	Tilapia zillii	1
Cichlidae	紅魔鬼	Amphilophuscitrinellus	1
Cichlidae	皇冠三間	Cichlaocellaris	1
Cichlidae	珍珠石斑	Cichlasomamanaguense	1
Clariidae	泰國塘虱魚	Clariasbatrachus	1
Cobitidae	皇冠沙鯪	Botiamacracanthus / Chromobotiamacracanthus	0

附錄一、(續)

Cyprinidae	泰國鯽	Barbonymus schwanenfeldii	0
Cyprinidae	鯽魚(朱文錦)	Carassiusauratus	1
Cyprinidae	金魚;蘭壽;黑蘭壽;獅頭; 琉金;紅帽;紅獅頭	Carassiusauratus	0
Cyprinidae	錦鯉(百大)	Cyprinuscarpio	1
Cyprinidae	武昌魚	Megalobramaamblycephala	1
Cyprinidae	櫻桃燈	Puntius titteya	0
Cyprinidae	紅尾金線燈	Rasboraborapetensis	0
Cyprinidae	白雲山	Tanichthysalbonubes	0
Eleotridae	筍殼魚(斑駁尖塘鱧)	Oxyeleotrisarmorata	1
Loricariidae	珍珠大鬍子	Ancistrushoplogenys	0
Loricariidae	琵琶鼠魚、皇冠琵琶	Hypostomusplecostomus	1
Notopteridae	七星飛刀	Chitalaornata	1
Osphronemidae	泰國鬥魚、暹羅鬥魚	Betta splendens	0
Osphronemidae	印度麗麗、彩兔、大絲足驢	Colisafasciatus / Trichogasterfasciata	0
Osphronemidae	大紅麗麗、橘裳麗麗、厚唇 麗麗	Colisalabiosus / Trichogasterlabiosa	0
Osphronemidae	麗麗;一片藍麗麗;電光麗 麗	Trichogasterlalia / Trichogasterlalius	0
Osphronemidae	珍珠馬甲	Trichogasterleeri	0
Osphronemidae	銀馬甲	Trichogastermicrolepis	0
Osphronemidae	三星鬥魚、青萬隆	Trichogastertrichopterus	1
Pimelodidae	紅尾鴨嘴	Phractocephalushemioliopterus	1
Pimelodidae	虎皮鴨嘴	Pseudoplatystomafasciatum	1
Plecoglossidae	年魚(香魚)	Plecoglossusaltivelis	1
Poeciliidae	大肚魚(百大)、胎鱗	Gambusiaaffinis	1
Poeciliidae	孔雀魚;黃尾禮服;馬賽 克;藍草尾;莫斯科藍	Poeciliareticulata	1
Poeciliidae	金銀雙劍、黑銀雙劍、常鱗 陰陽劍、紅劍、單劍、雙劍、 紅雙箭	Xiphophorusshelleri	0
Poeciliidae	紅太陽;紅茶壺;紅球;米 老鼠;金球	Xiphophorusmaculatus	0
Salmonidae	虹鱒	Oncorhynchus mykiss	1