

視窗化養殖漁業用水時間分布模式之發展與應用

Development and Application of a Window-based Temporal Distribution Model for Aquaculture Water Demand

國立成功大學水工試驗所
助理研究員

楊道昌

Tao-Chang Yang

國立成功大學水工試驗所
技術員

陳信彰

Shen-Jan Chen

經濟部水資源局五組二科
科長

張國強

Kou-Chiang Chang

摘 要

本文主要目的在於發展視窗化養殖漁業用水時間分布模式，並利用蒙地卡羅法進行養殖漁業用水時間分布之不確定性分析，以推估養殖漁業用水於各個月份之平均需求量與其信賴區間。本文以屏東縣塭豐養殖漁業生產區為應用範例，分析結果顯示：本文建立之視窗化養殖漁業用水時間分布模式具有使用親和力較高外，並能合理提供與展示目前養殖漁業生產區內各個月份的養殖漁業用水平均需求量及其信賴區間，對於未來養殖漁業生產區地表水地下水聯合運用、淡水/海水統籌供應系統容量設計及共同水權申請與核發具有實質之參考價值。

關鍵詞：養殖漁業生產區，養殖漁業用水需求，不確定性分析。

ABSTRACT

The main purpose of this study is to develop a window-based temporal distribution model for aquaculture water demand and use the Monte Carlo method for its uncertainty analysis. The proposed model provides not only the mean water demand for each month but also the confidence interval. The Weng-Fung aquaculture demonstration district in Ping-Tung County was chosen as a case study. The results reveal that the window-based temporal distribution model of aquaculture water demand has a friendly interface and can reasonably provide the mean water demand for each month and the confidence interval. These are the essential information for joint application between surface and ground water, capacity design of freshwater/saltwater supply systems, and pre-examining the application of new water right in aquaculture demonstration districts.

Keywords: Aquaculture demonstration district, Aquaculture water demand, Uncertainty analysis.

一、前言

國內養殖漁業崛起於六十年代，當時養殖業者以養殖鰻魚及草蝦為主，養殖漁業用水需求量頗大，但卻無養殖漁業專用的供水規劃與設施，因而導致養殖業者轉向抽取水質穩定之地下水使用。由於大量抽取地下水的結果，已導致沿海地區地盤下陷、土質鹽化，與海水倒灌，嚴重危及國土保安及人民生命財產的安全。因此，如何合理推估養殖漁業用水需求量並適切供應養殖漁業用水，實為一重要課題。

欲精確估算養殖漁業用水需求量須考量許多影響因子，諸如放養期間、養殖時間、放養期數、養殖鹽度、放養密度、養殖池深度與換(補)水率等。上述因子既缺乏詳細資料且受限於市場機制之影響而屢有變動，故欲精確的估算養殖漁業用水需求量頗為不易。國內養殖漁業用水需求量之估算方式最早由財團法人農業工程研究中心(1984)依據養殖種類、成長階段、養殖密度及養殖方式等因子所訂定，其中所調查之魚種包括鰻魚、蝦、虱目魚及吳郭魚等。財團法人農業工程研究中心進而於民國八十四年、民國八十六年及民國八十七年再次針對重要養殖縣市進行現況養殖合理用水量之調查分析(財團法人農業工程研究中心, 1995, 1997, 1998)，同時針對不同養殖魚種透過實際調查訪問及安裝量水設備等方式，推求七個縣市各魚種之年淡水用量及年總用水量，並建立合理養殖用水量推估模式(財團法人農業工程研究中心, 1999)。

目前養殖漁業生產區內之年淡水用量或年總用水量推估結果，仍無法滿足在許多需瞭解各月份養殖漁業用水需求量之實際應用上。諸如，進行沿海地區地表水地下水聯合運用時，需掌握各月份養殖漁業淡水需求量以有效運用尚可利用之地表水，減少地下水過度抽取(楊道昌等人, 2000)。對於提供淡水/海水統籌供應系統容量設

計之參考時，亦需瞭解各月份養殖淡水/海水需求量並挑選尖峰養殖用水需求量做為系統容量設計之上限值。未來養殖漁業生產區之地表水/地下水共同水權申請與核發，亦需以各月份養殖淡水需求量為依據。由此可知推估各月份養殖用水需求量之重要性。

由於養殖漁業用水需求量因不同放養魚種具有不同之放養期間、養殖時間與放養期數，造成養殖漁業用水需求量具有季節性之變化。因此，如何考量上述因子而將年淡水用量分配至各月份，為本文發展養殖漁業用水時間分布模式之主要目的。本文將採用財團法人農業工程研究中心之年淡水用量推估結果，配合現場訪問養殖漁業生產區管理委員會的方式取得相關資料(如不同魚種之養殖面積、放養期間、養殖時間與放養期數等因子)，利用本文發展的養殖漁業用水時間分布模式推算各月份之養殖漁業用水需求量。

一般造成模式輸出之不確定性來源甚多，如自然環境、模式架構、模式輸入與模式參數。在探討模式輸出之不確定性研究中，較常針對模式輸入與模式參數進行分析。然而在本文進行資料收集的過程中面臨某些因子具有相當程度之不確定性存在(如放養期間、養殖時間與年淡水用量)，對於各月份養殖漁業用水需求量之推估產生相當大的困擾。因此，本文將以蒙地卡羅法(Monte Carlo Method)進行上述不確定因子造成推估用水量之影響，進而計算各月份之平均需求量與其 95%信賴區間。

為期本文所發展之養殖漁業用水時間分布模式具有較高的使用親和力與考量其未來之擴充性，本文將利用 Microsoft Visual Basic 與 Microsoft Fortran PowerStation 兩種程式語言進行視窗化模式開發。其中 Microsoft Visual Basic 具有較強的使用者介面開發與圖形展示之能力，若配合 Microsoft Fortran PowerStation 之運算

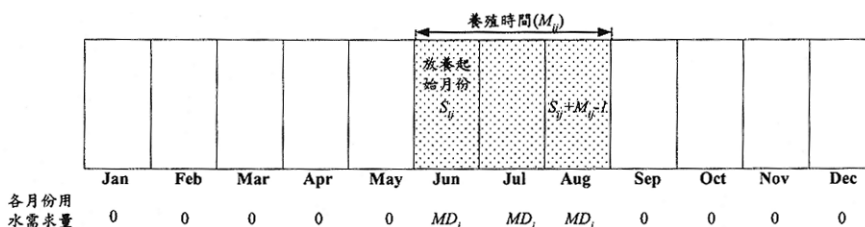


圖 1 魚種(i)放養期數第j期各月份之用水需求量推估示意圖

能力，將能發揮兩者相輔相乘的功效。最後，本文以屏東縣塹豐養殖漁業生產區為應用範例進行分析，並說明本文發展之視窗化養殖漁業用水時間分布模式各項功能與分析結果。

二、養殖漁業用水時間分布模式之建立與不確定性分析

2.1 模式建立

本模式主要輸入變量為不同魚種之養殖面積、放養起始月份、養殖時間、放養期數與年淡水用量。

今假設某一魚種(i)其養殖面積為 A_i (公頃)、養殖時間 M_i (月)、放養期數 N_i 與年淡水用量 D_i (萬噸/年/公頃)。該種魚種(i)放養期數第j期($j=1, 2, \dots, N_i$)之放養期間起始月份為 S_{ij} (月)，各月份之用水需求量推估示意圖如圖 1 所示。計算方式如下：

S_{ij} 至 $S_{ij} + M_i - 1$ 中各月份之用水需求量 MD_i (萬噸/月)為：

$$MD_i = A_i \times D_i / M_i \dots \dots \dots (1)$$

其它各月份之用水需求量則為：

$$MD_i = 0 \dots \dots \dots (2)$$

利用上述二式計算所有放養期數後並加總各月份的用水需求量，即為該種魚種(i)各月之用水需求量。進而計算所有魚種之用水需求量後再加總，即可推求出養殖區內各月份之用水需求量。

2.2 不確定性分析

根據 2.1 節建立之養殖漁業用水時間分布模式，只需輸入不同魚種之養殖面積 A_i (公頃)、放

養起始月份 S_{ij} (月)、養殖時間 M_i (月)、放養期數 N_i 與年淡水用量 D_i (萬噸/年/公頃)便可推算出各月份之用水需求量 MD_i (萬噸/月)。

然而經由養殖漁業生產區現場訪問的結果顯示，相同魚種之放養起始月份 S_{ij} (月)具有相當程度之不確定性，即放養起始月份並不固定，且相同魚種之養殖時間 M_i (月)亦非定值。依財團法人農業工程研究中心(1997)選取之分析樣本發現同一地區相同用水形式之相同魚種其年淡水用量 D_i (萬噸/年/公頃)不盡相同。上述不確定因子均會造成推估各月份用水需求量之困擾。因此，為進行 2.1 節所建立之養殖漁業用水時間分布模式，本文將考慮上述三個因子的不確定性範圍，其中放養起始月份 S_{ij} (月)之可能範圍為放養期間起迄月份 S_{si} (月)與 S_{ei} (月)間，養殖時間 M_i (月)之可能範圍位於下限值 M_{Di} (月)與上限值 M_{Ui} (月)間，年淡水用量 D_i (萬噸/年/公頃)之可能範圍則位於下限值 D_{Di} (萬噸/年/公頃)與上限值 D_{Ui} (萬噸/年/公頃)間。

本文以蒙地卡羅法進行放養起始月份 S_{ij} (月)、養殖時間 M_i (月)與年淡水用量 D_i (萬噸/年/公頃)等不確定因子造成推估結果之影響，並假設前述三項因子之分布為均勻分布，進而計算各月份之養殖漁業用水平均需求量與其 95% 信賴區間。不確定性分析之流程圖如圖 2 所示，分析方法分述如下：

- (1) 針對不同魚種(i)以蒙地卡羅法於放養期間起迄月份 S_{si} (月)與 S_{ei} (月)間，養殖時間為 M_{Di} (月)與 M_{Ui} (月)間及年淡水用量為 D_{Di} (萬噸/年/公頃)與 D_{Ui} (萬噸/年/公頃)間，以均勻分布隨機取樣方式取出 n 組不同放養起始月份 S_{ij} (月)、養殖時間為 M_i (月)及年淡水

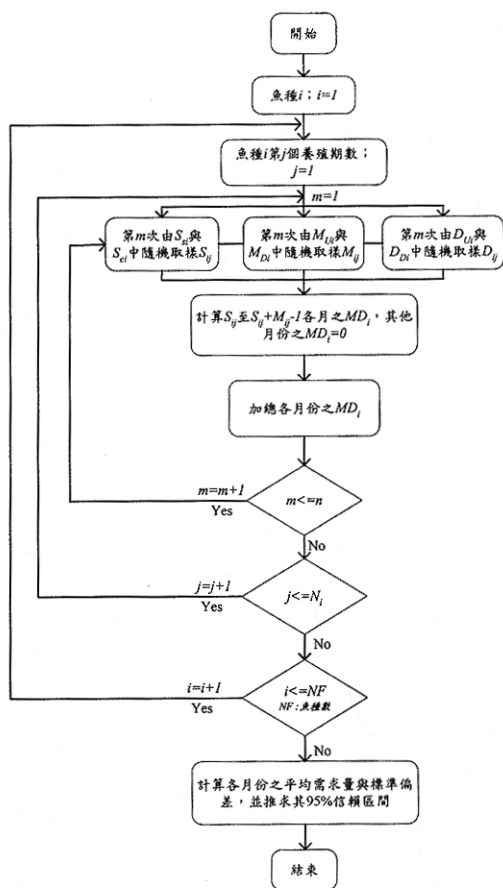


圖 2 養殖漁業用水時間分布模式之不確定性分析流程圖

用量 D_i (萬噸/年/公頃) 之樣本。

- (2) 以 2.1 節所建立之養殖漁業用水時間分布模式分別求出 n 組樣本之各月份養殖漁業用水需求量。
- (3) 利用 n 組樣本所計算之各月份養殖漁業用水需求量統計各月份之養殖漁業用水平均需求量與標準偏差，本文假設各月份之養殖用水需求量分布為常態分布，利用各月份之平均需求量 ± 1.96 倍之標準偏差進而推求其 95% 信賴區間。

三、應用範例

3.1 養殖漁業生產區相關資訊與選用資料

本文選用屏東縣佳冬鄉塭豐養殖漁業生產



圖 3 塭豐養殖漁業生產區位置圖(國立高雄海專, 1994)

區為應用範例，全區地勢平坦，東鄰葫蘆尾排水幹線，西至塭子堤防，南邊亦以塭子堤防為界，北以沿海公路及台鐵屏東縣鐵路為界，東西長約 3 公里，南北長約 1.9 公里，地勢由西北向東南傾斜。本區位於屏東縣佳冬鄉南端，面積約 500 公頃，原為低窪低產農地，但現已由農地轉變為養殖區，其相關位置如圖 3 所示。

本模式分析使用之魚種係採用塭豐養殖漁業生產區內主要養殖魚種共 18 種魚種為主，分別為草蝦、斑節蝦、沙白蝦、海鱺、燕魚、加志魚、龍鬚菜、石斑魚、紅衫、紅魚、午仔魚、枋頭、花身仔、紅曹、紅鼓魚、輪蟲、種魚及魚苗。相關模式之輸入資料彙整如表 1，其中各魚種之養殖面積乃經由現場訪問養殖漁業生產區管理委員會的方式獲得，而放養期間起迄月份、養殖時間及放養期數為利用收集相關資料加以彙整及現場訪問養殖漁業生產區管理委員會獲得，至於各魚種之年淡水用量資料，則採用財團法人農業工程中心(財團法人農業工程中心, 1997)對屏東地區所推估之結果。

3.2 分析結果

依第二節所建立之養殖漁業用水時間分布模式與不確定性分析方法，所需輸入參數分別為養殖面積 A (公頃)、放養期間起迄月份 S_{st} (月)與 S_{et} (月)、養殖時間上下限值 M_{Uf} (月)與 M_{Df} (月)、放養期數 N_i 及年淡水用量上下限值 D_{Uf} (萬噸/年/公頃)與 D_{Df} (萬噸/年/公頃)，以求得各月份之養殖用水平均需求量與其標準偏差。在分析過程中，本文繪出蒙地卡羅法執行次數和各月份養殖用水平均需求量及其標準偏差之關係圖(如圖 4 至圖 5)，以期瞭解需多少執行次數方可足夠分析各月份養殖漁業用水需求量之不確定性分析。由上述二圖可看出：各月份養殖用水平均需求量及其標準偏差隨執行次數之增加而漸趨穩定，且執行 30,000 次之蒙地卡羅模擬已可使各月份養殖用水平均需求量及其標準偏差趨於收斂，因此本文在蒙地卡羅法中選用 30,000 次之取樣進行不確定性分析。經由分析結果得到各月份養殖用水平均需求量與其 95%信賴區間如圖 6 所示(本文將其單位轉換為 m^3/sec)。由圖中可發現各月份之用水需求量有明顯之差異，特別是五月至九月份間之用水需求量明顯大於其它月份。

四、視窗化模式之發展

近年來視窗化模式的開發提供使用者操作模式的便利性，為期本文所發展之養殖漁業用水時間分布模式能具有輸入簡便與立即展示模擬結果之能力，本文使用 Microsoft Visual Basic 與 Microsoft Fortran PowerStation 兩種程式語言進行開發視窗化養殖漁業用水時間分布模式，前者用於使用者介面設計與圖形展示，後者則用於分析計算。目前本模式總計有四個視窗，各視窗之功能與使用方法分述如下：

(1)「養殖漁業用水時間分布模式」主視窗功能

當程式啟動時，即出現本視窗(如圖 7)。本視窗內共有三個命令鈕(Command Button)，可引導使用者分別進入「模式架構與方法介紹」子視窗、「輸入檔案編輯器」子視窗及「模式模擬運算」子視窗。

(2)「模式架構與方法介紹」子視窗功能

當由「養殖漁業用水時間分布模式」主視窗按「模式架構與方法介紹」命令鈕，即可進入本視窗(如圖 8)。本視窗具有「本模式之主要架構說明」、「不確定性分析說明」、「本模式之主要特色」、「重要參考文獻」及「回主畫面」等五個命令鈕，使用者可經由按下上述命令鈕獲得模式相關訊息。

(3)「輸入檔案編輯器」子視窗功能

當由「養殖漁業用水時間分布模式」主視窗按「輸入檔案編輯器」命令鈕，即可進入本視窗(如圖 9)。本視窗主要功能為提供使用者編輯輸入檔案或做為資料補充與校正用。

本模式為顧及使用使用者輸入分析資料的方便性，特提供兩種輸入資料之方式，其一為使用本視窗左邊「資料逐筆輸入區」之文字方塊逐筆輸入資料後，按「確定」鈕存檔，另一為以本視窗中間「輸入檔案編輯區」進行檔案編輯或以一般文書處理軟體編輯輸入檔亦可。

(4)「模式模擬運算」子視窗功能

當由「養殖漁業用水時間分布模式」主視窗按「模式模擬運算」命令鈕，即可進入本視窗(如圖 10)。於「輸入檔案檔名」及「輸出檔案檔名」之文字方塊下輸入檔名，之後決定計算魚種數目及蒙地卡羅法取樣數目後，便可按「執行運算」鈕及「分析結果繪圖」鈕開始執行運算並繪出各個月份養殖用水平均需求量與其 95%信賴區間圖(如圖 10)。為清楚展示各魚種之模式輸入因子，以提供模式使用者參考，於本視窗右方亦提供下拉式選單，供使用者自行決定欲展示之各魚種之模式輸入因子。

五、結論與建議

本文發展之養殖漁業用水時間分布模式可推求各月份養殖用水平均需求量與其 95%信賴區間，對於養殖漁業生產區內未來用水調配之參

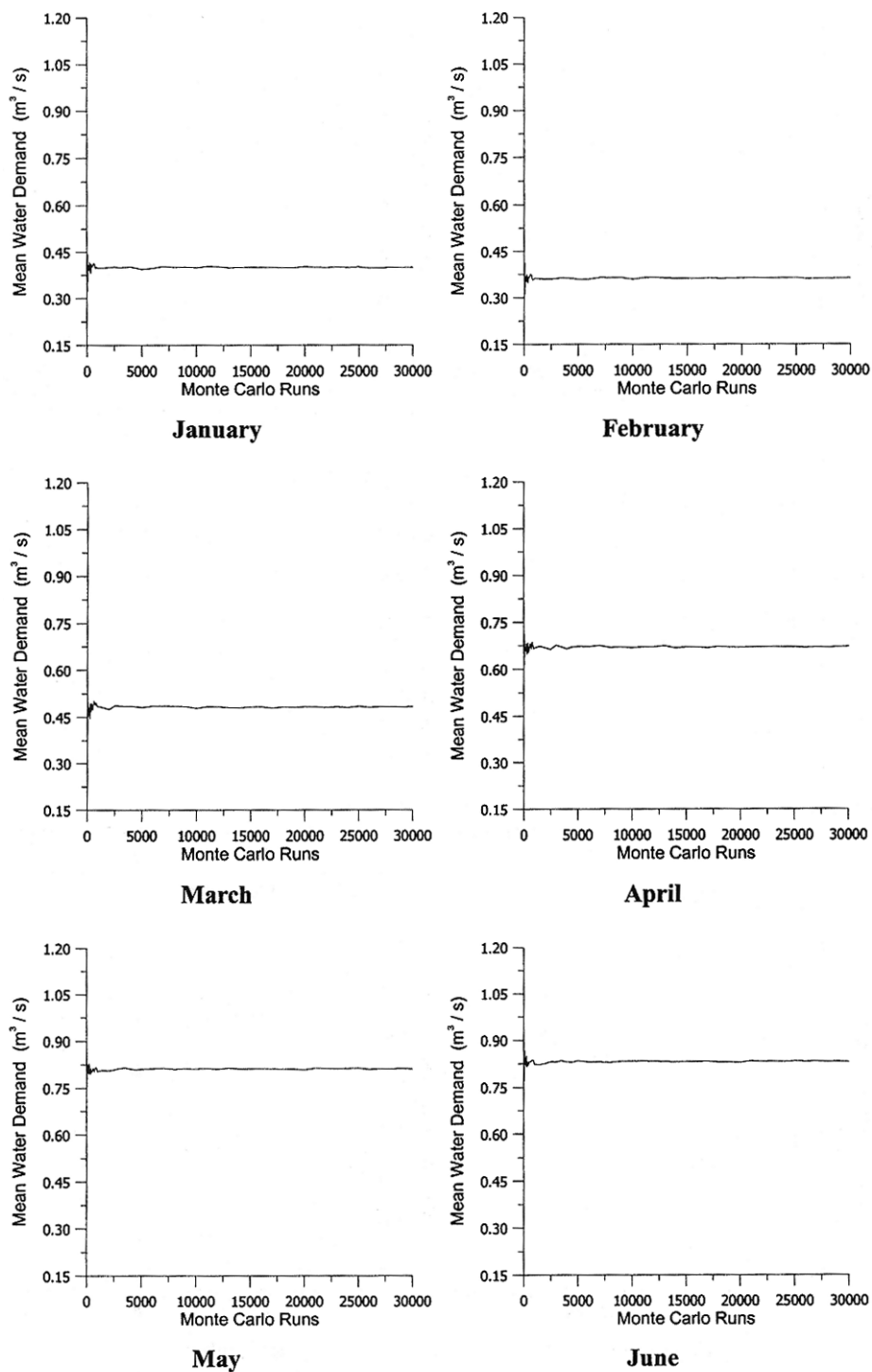


圖 4 一月至六月養殖用水需求量平均值與蒙地卡羅法執行次數關係圖

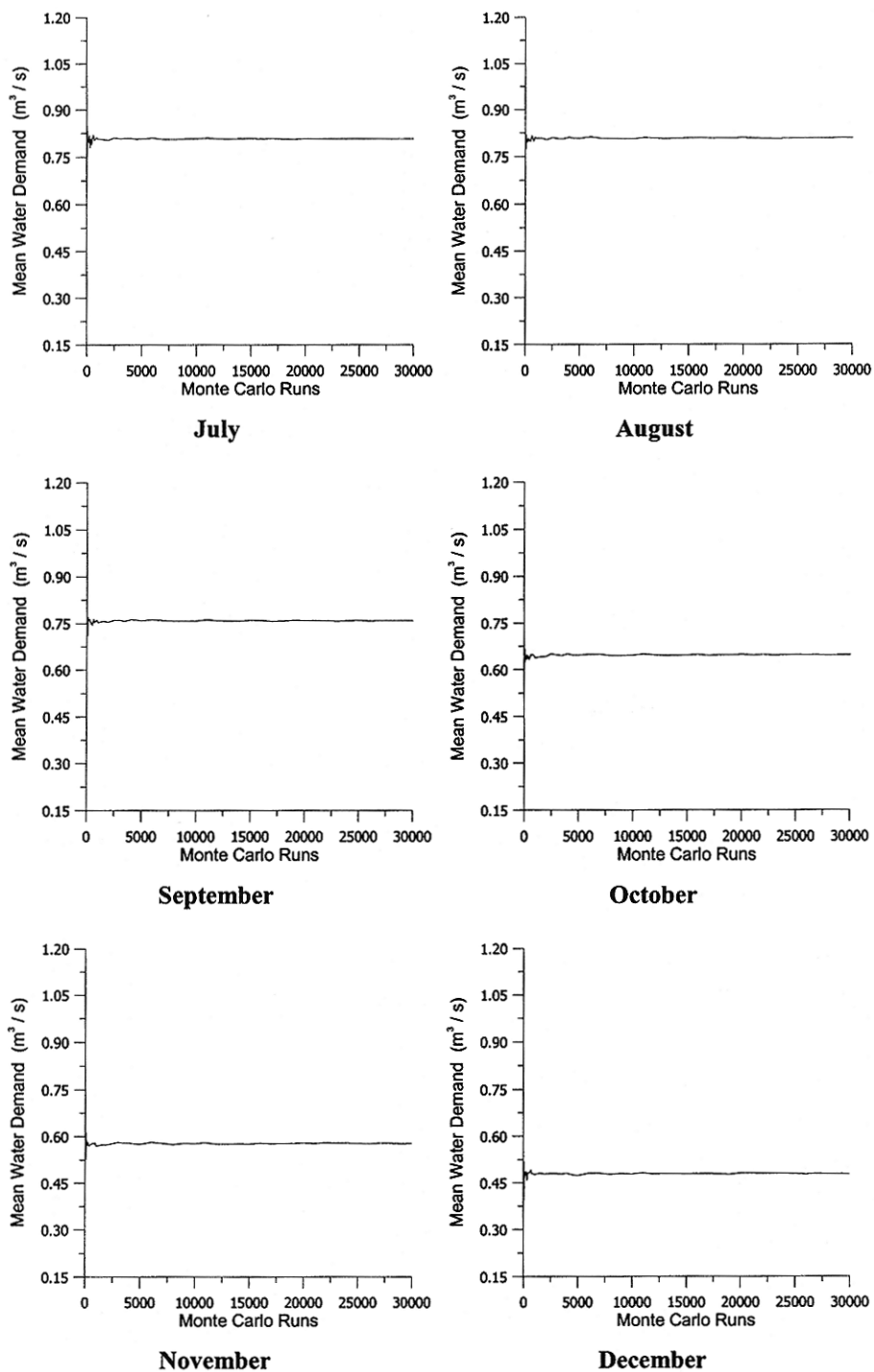


圖 4(續) 七月至十二月養殖用水需求量平均值與蒙地卡羅法執行次數關係圖

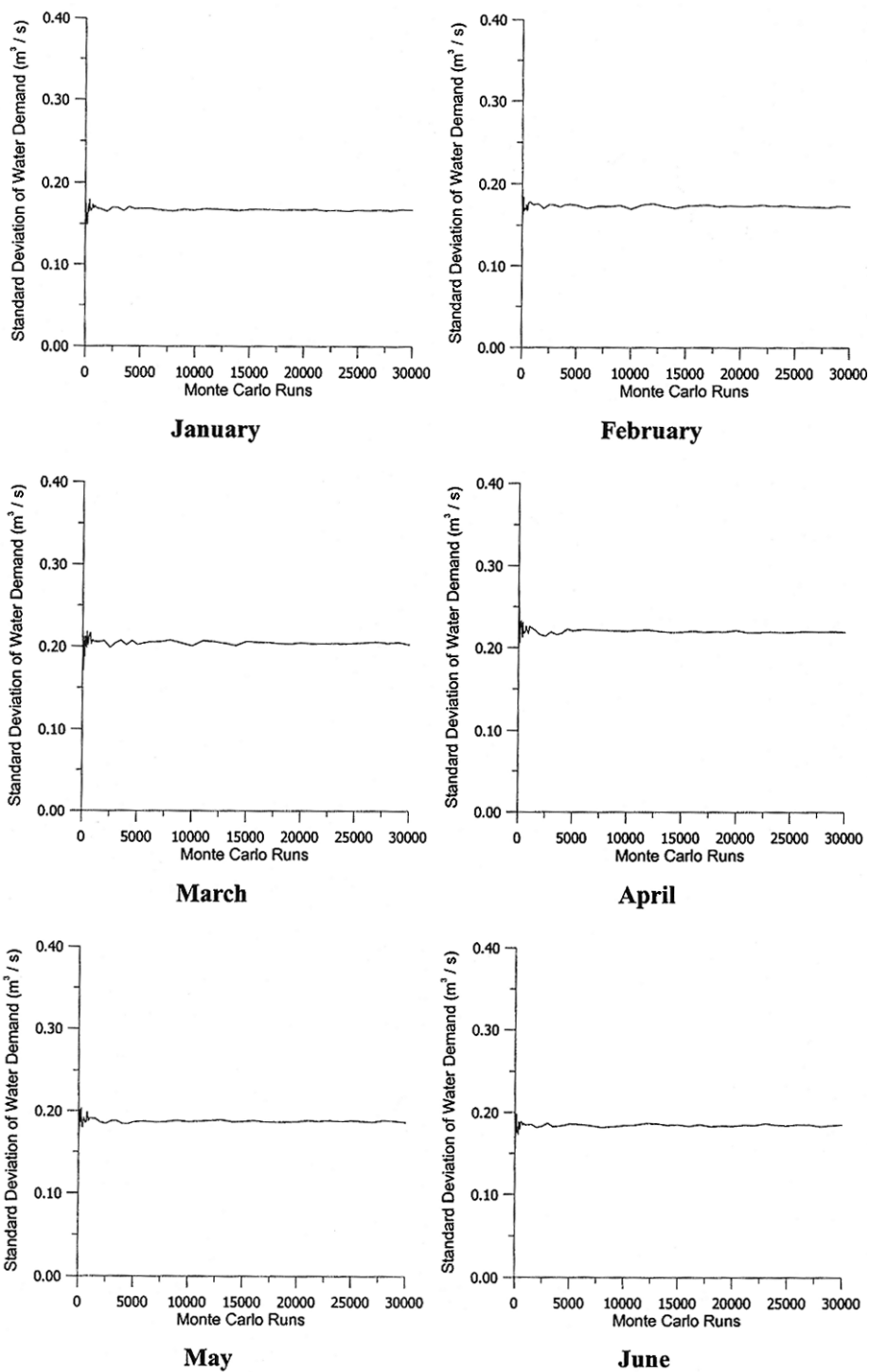
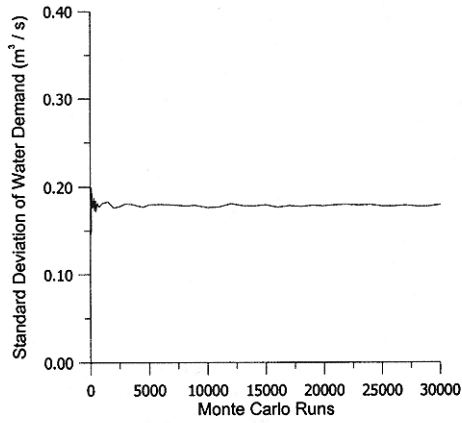
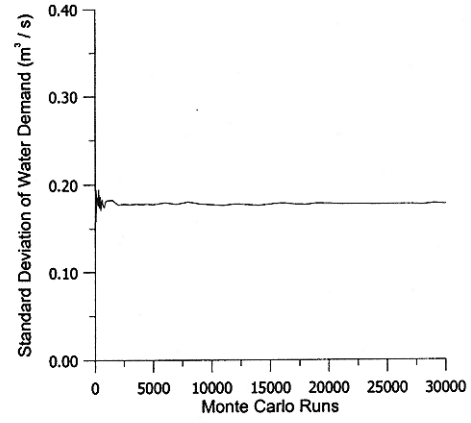


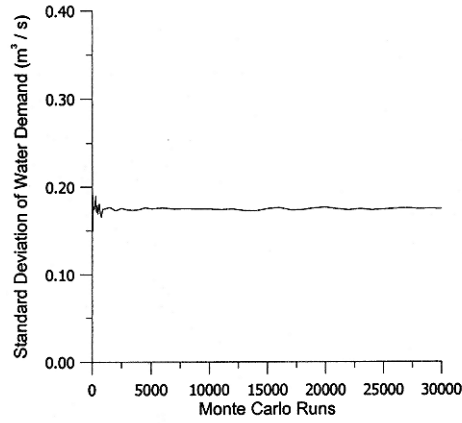
圖 5 一月至六月養殖用水需求量標準偏差與蒙地卡羅法執行次數關係圖



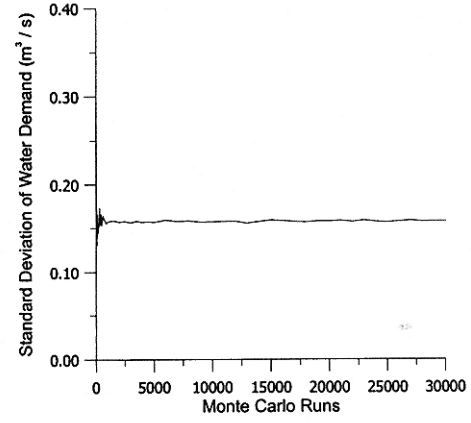
July



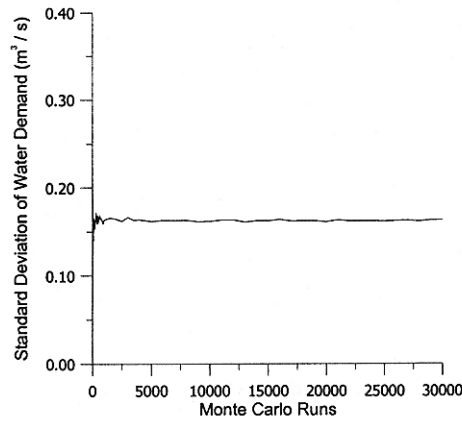
August



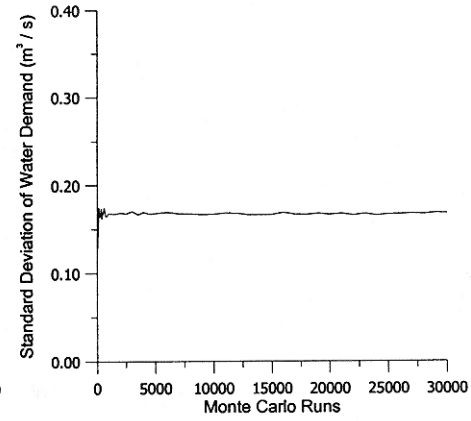
September



October



November



December

圖 5(續) 七月至十二月養殖用水需求量標準偏差與蒙地卡羅法執行次數關係圖

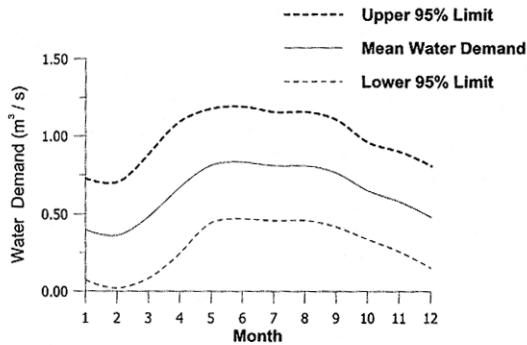


圖 6 使用蒙地卡羅法推估各月份養殖用水需求量平均值與其 95%信賴區間

圖 9 「輸入檔案編輯器」子視窗



圖 7 「養殖漁業用水時間分佈模式」主視窗

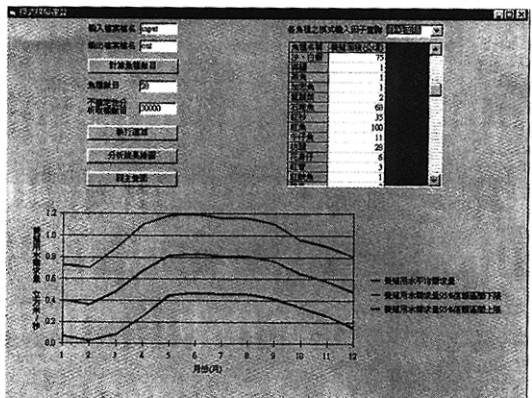


圖 10 「模式模擬運算」子視窗

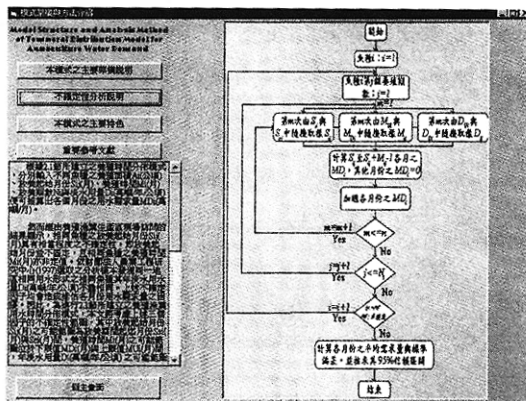


圖 8 「模式架構與方法介紹」子視窗

考、淡水/海水統籌供應系統容量設計與共同水權之申請與檢核將有實質助益。同時本文將模式開發為視窗化應用模式，提供日後簡易推廣的可行性。

經由本文利用屏東縣鹽豐養殖漁業生產區為分析對象之結果發現：本養殖漁業生產區於五

月至九月約為養殖用水需求之旺季，恰與台灣南部地區之豐水期(四月至十月)相近，故於進行養殖用水調配時，在這段期間儘可能規劃以地表水來供應養殖用淡水，減少抽用地下水以涵養地下水資源。本模式於分析養殖用水需求量時所採用的數據為年淡水用量，爾後若因應海水統籌供應站之設立，只須將年淡水用量改為年海水用量，模式便可算出各月份海水之平均需求量與其 95%信賴區間。利用各月份之用水變化，取其尖峰用水量將可做為未來海水統籌供應站之容量設計參考。

本文發展之模式所需輸入的參數，包含不同魚種(i)之養殖面積 A_i (公頃)、放養期間起迄月份 S_{st} (月)與 S_{et} (月)、養殖時間上下限範圍 M_{st} (月)與 M_{et} (月)、放養期數 N_i 與年淡水用量上下限範圍

表 1 相關模式輸入資料彙整表

養殖種類	養殖面積	放養期間起迄月份	養殖時間	放養期數	淡水用量			
i	A_i (公頃)	S_{si} (月)	S_{ei} (月)	M_{Di} (月)	M_{Ui} (月)	N_i	D_{Di} (萬噸/年/公頃)	D_{Ui} (萬噸/年/公頃)
*草蝦	3.0	3	8	2	3	2	4.1	10.0
*斑節蝦	10.0	6	8	5	10	1	4.1	10.0
*沙、白蝦	75.0	3	8	2	4	2	4.1	10.0
+海鱺	1.0	3	5	12	12	1	1.9	12.9
+燕魚	1.0	3	5	12	12	1	2.3	11.9
+加志魚	1.0	3	5	12	12	1	1.3	2.1
+龍鬚菜	2.0	3	5	1	1	12	1.5	13.1
*石斑魚	68.0	3	5	8	12	1	2.3	11.9
+紅衫	35.0	3	5	6	9	1	2.3	11.9
+紅魚	100.0	3	5	7	14	1	1.9	12.9
+午仔魚	11.0	3	5	4	6	1	2.3	11.9
+枋頭	28.0	1	8	9	14	1	1.9	12.9
+花身仔	6.0	3	5	12	12	1	1.9	12.9
+紅曹	3.0	3	5	10	18	1	1.9	12.9
+紅鼓魚	1.0	3	5	9	12	1	1.3	2.1
+輪蟲	3.0	1	12	2	3	5	2.3	11.9
+種魚	15.0	3	5	24	36	1	2.3	11.9
+魚苗	27.0	1	12	2	3	5	2.3	11.9

註：1. 『*』表示財團法人農業工程研究中心有調查淡水用量之魚種。

2. 『+』表示財團法人農業工程研究中心沒有調查淡水用量之魚種，而由本文依魚種屬性或混養情形初步分類。

3. 海鱺、紅魚、枋頭、花身仔及紅曹歸屬於鯛類魚種。

4. 燕魚、洪衫、午仔魚、輪蟲、種魚及魚苗歸屬於石斑魚種。

5. 加志魚及紅鼓魚歸屬於鱸魚。

6. 龍鬚菜歸屬於虱目魚。

D_{Ui} (萬噸/年/公頃)與 D_{Di} (萬噸/年/公頃)，因受限於人力與時間限制，在資料收集上甚為不易。因此，對於養殖生產區內所有魚種之放養期間起迄月份、養殖時間、放養期數與年淡水用量等相關資料無法一一掌握，可能導致 3.1 節中養殖魚種淡水用量之資料歸納(如表 1 所示)過於粗略，造成分析結果之不確定性提高。原因乃由於本文之研究區域內共有 18 種養殖魚種中，僅有 4 種魚種具有較為可靠的調查資料，其餘 14 種魚種為本文自行利用魚種屬性之相關程度或混養情形進行歸類，有可能因當地之養殖習性與自然環境等因素導致給予的數據與實際狀況產生差異，進而影響估算結果。因此，未來進行本模式之估算

前，對於養殖生產區內各種魚種之用水特性均需進行詳細調查，以提高本模式估算結果之可靠度。

目前本模式初步以養殖時間利用算術平均法等分年淡水用量成各月淡水用量，以簡化實際養殖過程。但實際養殖過程中，如雨季與季節交替時產生的水質不穩定情況，抑或放養後期因池內污濁物累積濃度過高時，才會進行較大比例之換水。否則，一般則多僅補充蒸發損失水量或以日換水率 3%至 10%池水容積進行管理。且養殖生產區內之魚塭屬於戶外池時，夏冬季期間的水面蒸發速度不同，亦有可能影響不同月份用水量之估算。因此，對於上述於實際養殖過程中可能

面臨的問題，在未來研究中將一併納入考慮。由於實際現地採訪樣本數不多，本文暫且將各魚種放養起始時間、養殖時間、年淡水用量之分布假設為均勻分布進行不確定性分析，未來工作將持續進行更多現地相關資料之調查與蒐集，並考慮採用其它分布進行各月份養殖用水需求量之不確定性分析。目前農委會漁業署已於八十九年度輔導全省養殖漁業生產區設置田間查報系統，以掌握各養殖漁業生產區養殖現況，本模式未來將可搭配此系統進行動態性各月份淡水/海水用水需求量之評估，以提供較為可靠之動態性參考數據。

謝 誌

本研究承蒙 經濟部水資源局經費補助「地層下陷防治服務團九十年工作推動計畫」得以順利完成，同時感謝國立成功大學水工試驗所助理技術員 陳建銘先生彙整養殖漁業生產區相關資料。另外，對於本學報審查委員提供有關養殖用水估算的寶貴意見，在此一併致謝。

參考文獻

1. 國立高雄海專，「塭豐養殖漁業生產區規劃報告」，台灣省漁業局(主辦)，82 農建-6.3-

漁-15-1，1994。

2. 財團法人農業工程研究中心，「養殖用水量之現況調查研究」，台灣省農林廳漁業局，1984。
3. 財團法人農業工程研究中心，「合理養殖用水量之調查分析」，台灣省農林廳漁業局，1995。
4. 財團法人農業工程研究中心，「合理養殖用水量之現況調查分析(第二年)」，台灣省農林廳漁業局，1997。
5. 財團法人農業工程研究中心，「合理養殖用水量之現況調查分析(第三年)」，台灣省政府農林廳漁業局，1998。
6. 財團法人農業工程研究中心，「合理養殖用水量推估模式之建立」，台灣省政府農林廳漁業局(主辦)，88 農建-2.2-漁-03(1)，1999。
7. 楊道昌、游保杉、張國強，「沿海地區地表水地下水聯合運用決策支援模式」，台灣水利季刊，第 48 卷，第 3 期，第 10-17 頁，2000。

收稿日期：民國 89 年 11 月 6 日

接受日期：民國 90 年 1 月 4 日